分类号______ 密级______

UDC______ 编号______

華中師範大學

硕士学位论文

武汉城市圈农业低碳发展分析与路径选择

学位申请人姓名: 林巧鹏

申请学位学生类别: 全日制硕士

申请学位学科专业: 农村与区域发展

指导教师姓名: 钟儒刚 教授



硕士学位论文

武汉城市圈农业低碳发展分析与路径选择

论文作者：林巧鹏

指导教师：钟儒刚　教授

学科专业：农村与区域发展

研究方向：乡村发展与土地利用

华中师范大学城市与环境科学学院

2012 年 5 月



Analysis and Path Selection of Agricultural Low-carbon Development of Wuhan City Circle

A Thesis

Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Master Degree in Rural and Regional Development

By

Lin Qiaopeng

Postgraduate Program

College of Urban and Environment Sciences

Central China Normal University

Supervisor: Zhong Rugang

Academic Title: Professor

Signature Zhong Rugang

Approved

May, 2012

华中师范大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的研究成果。除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：林巧鹏　　　　日期：2012年5月21日

学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解华中师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属华中师范大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后遵守此规定）

保密论文注释：本学位论文属于保密，在 ____年解密后适用本授权书。

非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

作者签名：林巧鹏　　　　导师签名：钟儒刚

日期：2012年5月21日　　　　日期：2012年05月21日

本人已经认真阅读“CALIS 高校学位论文全文数据库发布章程”，同意将本人的学位论文提交“CALIS 高校学位论文全文数据库”中全文发布，并可按“章程”中的规定享受相关权益。同意论文提交后滞后：□半年；□一年；□二年发布。

作者签名：林巧鹏　　　　导师签名：钟儒刚

日期：2012年5月21日　　　　日期：2012年05月21日

中文摘要

气候变化是 21 世纪普遍关注的全球性环境与科学发展的问题。石化能源在大量消耗的同时也产生大量的 CO_2 等温室气体推动了气候变化。基于全球气候变暖和能源安全问题提出的低碳经济是新的经济发展模式，也是经济的一个增长点，各行各业都在寻求新的发展突破口。农业是国民经济的基础产业、民生的产业，农业生产对耕地的利用以及化学类等农用物资投入是重要的碳源，同时农业又有巨大的碳汇潜力，在低碳经济背景下如何实现农业低碳化发展，已成为国内外学者的研究热点，本文以武汉城市圈农业低碳化发展为研究对象，以此初探农业低碳发展可行路径。

首先阐述低碳农业经济相关理论基础和国内外实践研究，借鉴研究武汉城市圈农业低碳发展的理论和实践经验。进一步分析武汉城市圈农业经济低碳发展的基础条件，通过农业资源禀赋情况、农业产业结构、农业区域布局情况、农业能源资源、农业科学技术等方面摸清武汉城市圈发展农业低碳化发展的潜力以及存在的不足。

通过测算和分析武汉城市圈农用地利用（主要是耕地、林地、草地）的碳排放效益和武汉城市圈农用地空间载体上农业活动的农用物资投入（农药、农膜、柴油、化肥等）所导致的碳排放。研究表明：（1）2009 年武汉城市圈区域农用地利用处于碳汇状态，碳吸收量 20.24 万吨。耕地是武汉城市圈农用地利用的主要碳源，而林地和草地是农地利用主要的碳汇。从武汉城市圈各个地区来看，因各类型农用地利用产生碳排放总量存在显著的区域差异。主要分布在武汉城市圈中西部，包括孝感、武汉、天门，累计碳排放总量超过 22 万吨。潜江、仙桃、鄂州碳排放总量较少，累计 11 万吨。而咸宁、黄冈、黄石三市农用地利用主要产生碳蓄积的作用。（2）武汉城市圈从 2000 年到 2010 年由于化肥、农膜、农药、农业灌溉、农用柴油投入导致的农业活动碳排总量和碳排强度呈逐年上升趋势。从区域特征来看差异明显：黄冈市农业活动碳排放总量很高，碳排放强度很高，典型的“双高”型；孝感市属于碳排放总量高和碳排放强度高的类型；武汉市碳排放总量高、碳排放强度一般；仙桃市、潜江市碳排放总量一般但碳排放强度很高；黄石市属于碳排放总量低和碳排放强度低的“双低”型。

农用地利用、农用物资投入等方面是武汉城市圈农业活动的主要碳源，其影响因素是多方面的。基于此，武汉城市圈农业低碳发展实现可以依赖以下几条路径：一是武汉城市圈农业产业结构调整与低碳化；二是探索低碳型的农用地利用新模

式；三是实现农业物资投入的减量化与高效利用；四是创新推广农业低碳发展技术；五是建立和完善农业低碳政策体制支撑体系。

关键词： 低碳农业；农用地利用；农用物资；碳排放；低碳发展；武汉城市圈

Abstract

The twenty-first century sees climate change is the problem that attracts universal attention by the global environment and scientific development research. And the climate change problem is driven by large amount of greenhouse gases such as CO_2 produced during the process of consumption of Petrochemical energy. Based on the global climate change and the energy security issues, it is put forward that low carbon economy is a new model of economic development as well as a point of economic growth. Agriculture, the basic industry of the national economy and people's livelihood, is an important carbon source for the carbon that is caused by the land use and agricultural activities as well as the input of agricultural chemical materials. However, agriculture has great carbon sink potential at the same time, so how to realize agriculture low carbon development under the background of low-carbon has become a research hotspot that is studied by scholars at home and abroad. This paper take the agriculture low carbon development of Wuhan city circle as the research object in order to explore feasible path of agriculture low carbon development.

This paper first explain the relative theory and practical research on agriculture low carbon economy at home and abroad, in view of which, and then make a further analysis of foundational conditions of low carbon development of agriculture economy in Wuhan city circle. Later the potential and insufficiency of agricultural low carbon development of Wuhan city circle will be figured out through the analysis of agricultural resource endowment, industrial structure of agriculture, the regional distribution of agriculture, agricultural energy resources, agricultural science and technology and so on.

By measuring and analysis of carbon emissions benefits of agricultural land use (mainly be farmland, woodland, and grassland) and carbon emission caused by agricultural activities and agricultural material inputs (such as the pesticides, plastic sheeting, diesel, fertilizer, etc) in the space vector of Wuhan city circle, the research shows two results. First conclusion is that area of agricultural land use of Wuhan City Circle in 2009 is in the state of the carbon sink in general with the total carbon uptake be 20.24×10^4 tons, in which the farmland is the main carbon source and the forest and grassland is carbon sink source. Seen from different regions of Wuhan City Circle, there

are significant regional differences on the total carbon emission between agricultural land uses of different type, especially in central and western part of Wuhan City Circle, such as Xiaogan, Wuhan and Tianmen with their total carbon emission exceeding 22×10^4 tons. While the carbon emission of some regions such as Qianjiang, Xiantao and Ezhou, is relatively less with the total amount be 11×10^4 tons. However, the agriculture land uses in regions like Xianning, Huanggang and Huangshi play the main role in carbon sink. The second conclusion is that the total amount and intensity of carbon emission caused by agriculture inputs and activities in Wuhan City Circle from 2000 to 2010 show the trend of yearly increment. Seen from feature aspect, the regional differences are obvious: the carbon emission amount and intensity caused by agriculture activities in various regions is different, in Huanggang both carbon emission amount and intensity are very high, a typically "double high" type, and in Xiaogan both high, in Wuhan with the former high and the latter general, in Xiantao and Qianjiang with the former general and the latter high, and in Huangshi both low, a typically "double low" type.

Agricultural land use and agricultural material inputs of Wuhan city circle agricultural activity is the main source of carbon, the influence factors of carbon emissions are various. Based on the comprehensive research above, conclusions can be drawn that the realization of agriculture low carbon development of Wuhan city circle should depend on several paths as following with the first path is the adjustment of agriculture industrial structure and agricultural low carbonization, second is exploration of new mode of agricultural land use of low carbon type, third is realization of reduction of material inputs in agriculture and their of high efficiency use, fourth is promotion and innovation of agricultural low carbon development technology and the last is establishment and improvement of support system of agricultural low carbon policy and institution.

Key words: Low-carbon Agriculture; Agricultural Land Use; Agricultural Supplies; Carbon Emissions; Low-carbon Development; Wuhan City Circle

目 录

第1章 绪　论

1.1 研究的背景及意义

1.1.1 选题背景

气候变化是 21 世纪普遍关注的全球性环境与科学发展的问题。气候变化对自然界的影响主要表现在全球年均温的上升，由 CO_2、CH_4 等温室气体导致的温室效应在过去的 100 年中使全球平均地表气温上升 0.3℃-0.6℃，并有预测全球平均气温到 2100 年将升高大约 1.8℃-4.0℃[1]。自然界方方面受到全球暖化带来持续的负面影响（海平面上升、极端气候灾害频发、冰川冻土融化等）也危及各种生态系统的正常运转并威胁到人类的生存和发展。应对气候变化是个复杂的长期的系统问题，核心是减少以 CO_2 为主等温室气体的排放与适应全球变暖的趋势。节能减排是必须做出的抉择，从 1976 年的《京都议定书》(Kyoto Protocol)到 2007 年的《巴厘岛路线图》(Bali Roadmap)再到 2009 年的《哥本哈根协议》(Copenhagen Accord)，为碳减排的责任和目标，世界各国努力寻求突破的路径。

能源资源作为国家经济发展的基础，是工业发展的动脉，各国在工业化过程中消耗了大量的常规化石类能源。能源消费以石油为主导，石油资源成为了国民经济发展的战略性商品资源。根据国际能源机构的统计：地球上储存的石油能源可供人类开采的年限大约为 40 年、煤炭的年限大约为 240 年、天然气的年限大约为 50 年[2]，蕴藏量并不是无限的，对能源的消费应该加以节制。能源资源环境的压力迫使全球能源利用和能源结构的发展轨迹正由一个高碳时代渐渐步入低碳时代的过程。

基于全球气候变暖和能源安全问题提出的低碳经济是新的经济发展模式，走进低碳经济时代也是人类实现全面可持续发展的必然选择。“低能耗、低排放、低污染”是低碳经济发展的基本特征[3]。发展低碳经济是一个涉及能源、经济、环境系统的综合性问题，是一种新经济发展理念模式，把碳排放作为其新的价值衡量标准，为经济社会发展规制了一个新的游戏规则[4]。

低碳经济的内涵随着理论和实践研究的进展得到丰富拓展，作为前沿的经济理念涉及广泛的产业领域和管理领域。但目前的研究视点集中在工业化、城市化过程中的低碳发展，对农业领域低碳发展的研究相对的薄弱。农业生产活动直接作用于自然环境，是受气候和天气制约最大的领域，气候资源为农业生产提供光、热、空气等物质能源，气候的变化将影响到农业生产环境的各个要素（温度、CO_2 浓度、

降水)，改变农业的布局结构、种植制度、作物产量和作物品质，影响着生物的多样性，影响着农业综合生产潜力，也增加农业生产的投入成本。我国是农业大国，农业是国民经济的基础产业、民生的产业，农业生产的波动和不稳定性将危及粮食安全和经济社会的可持续发展。

农业的发展过程经历刀耕火种的原始农业阶段、近代的传统农业阶段和现代的工业化农业阶段，历经万年的发展历史，是最古老的产业。现代农业生产中实行大规模的机械化，实行专业化规模生产，投入大量人工合成化肥、农药、植物调节剂等化学制品，造成对石油等能源资源的高消耗，对土地、植被等的高破坏，对环境等的高污染，农业生产的高成本、低效率、质量低、不安全，难以实现农业资源环境和农业经济的可持续发展。农业生产活动大量排放超过自然生态系统所能承载的CO_2、CH_4、NO_2等温室气体。有研究表明，农业源排放的温室气体中CO_2占人为总排放量的21%-25%、CH_4占57%的比重、N_2O占65%-80%的比重[5]，农业生产活动导致自然生态系统发生严重的变化。据联合国粮食与农业组织的统计，农用地利用每年释放出150×10^8 t 的CO_2，超过全球人为温室气体总排放量的30%[6]。农业经济的发展同样也面临着温室气体减排、固碳、节能压力。

我国向世界承诺到2020年单位GDP排放CO_2与2005年相比下降40%-50%，并作为一个经济发展的约束性指标，我国处于工业化发展快速阶段，工业的碳减排空间相对有限，为完成接下来近十年40%-50%的减排目标，农业拥有巨大减排空间和固碳潜力[7]应承担一部分责任。

因此对农业低碳化发展的研究成为必然，与低碳经济发展研究相对应，在农业领域节能减排以应对和适应气候变化，充分发挥农业碳库的碳汇功能。

1.1.2 选题意义

低碳农业应是低碳经济系统的有机组成部分，是低碳经济在农业领域的实现途径，是世界性的农业思潮和农业发展战略目标，是农业发展的重大转变，是中国特色农业现代化的战略选择。推动低碳农业发展有利于缓解农业发展的生态环境问题，实现资源的“减量化、再生、循环”，确保安全的粮食供给，实现农业的可持续发展方向迈进。

武汉城市圈是湖北省经济核心区域，具有最密集的生产要素和最具活力产业生产力的地区，也是我国中部地区最具发展潜力的经济区域。2007年12月，武汉城市圈“资源节约型和环境友好型”（简称“两型社会”）综合配套改革总体方案获得国务院正式批复并进入全面实施阶段。2009年1月，武汉城市圈作为“现代农业综

合试验区”得到国家农业部的正式批复，探索以“经济效益好、科学技术高含量、能源资源低消耗、各种资源高利用率、污染环境少”为特征的现代农业发展模式，将武汉城市圈建设成为湖北省现代农业的先导区和示范区。武汉城市圈是我国重要的农业区，而农业作为国民经济的基础产业，是构建“两型社会”整个过程的重要环节，农业生产经营行为能否实现对资源的节约，能否与生态环境形成良性的友好关系，也是“两型社会”的建设一个重要指标。探索“低能耗、低排放、低污染”的低碳农业发展模式符合武汉城市圈“两型社会”建设的本质意义。“两型社会”建设给现代农业发展提出了新要求，低碳发展的理念丰富了“两型社会”的内容，为“两型社会”提供了新的发展思路。农业低碳化是资源节约和环境友好的农业经济发展方式，对武汉城市圈农业产业化与结构优化的根本要求。通过农业产业结构的调整和优化是农业低碳化发展的有效途径，也是保证武汉城市圈农业经济持续发展的动力，建立起武汉城市圈可持续的农业产业体系。

已有对我国农业碳排放研究表明，湖北省农业碳排放量和碳排放强度名列全国第五位[8]，作为农业大省，湖北省探索低碳农业发展具有不可推卸的责任。而武汉城市圈作为湖北省经济核心区，农业经济发展基地，寻找农业低碳发展路径对其更具有重大意义。

低碳农业已成为世界关注的焦点，但低碳农业的理论体系尚未成熟，国际低碳经济研究所的发起人、日本名古屋大学薛进军教授强烈呼吁要创建低碳经学这门学科来指导实践[9]。本文将进一步梳理低碳农业理论基础，探索区域农业低碳发展，对夯实低碳农业理论基础提供一定的帮助，对实践提供一定的指导。

以武汉城市圈为例，研究区域农业低碳化发展，不仅可以为全球碳循环和低碳农业研究提供区域的研究个例，而且也对制定低碳排放的农业发展提供理论依据。通过测算武汉城市圈农用地和农业物资投入碳排放量和碳排放强度时序特征和空间差异，对制定“两型社会”碳减排的标准具有参考意义。

1.2 本文研究的范畴

关于农业的内涵，《辞海》（1999 年版）表述为：“利用植物和动物的生活机能，通过人工培育以取得农产品的社会生产部门通常分为种植业和饲养业两大部分”。在我国农业类型的划分，习惯性分为农（农作物——大田作物和园艺作物的栽培）、林业（造林、营林）、牧业（畜、禽饲养和放牧）、副业（采集野生植物等服务农业生产、人类生活的附属生产）、渔业（水产养殖、采集和捕捞）。

有关城市圈农业发展的研究，国内限于都市农业与城市发展关系分析[10]，也有学者系统研讨城市圈建设与农业基础建设关系问题[11]。笔者认为城市圈农业发展应包含两部分主体：中心城市的现代都市农业和地处城市圈农村区域的传统农业。

综合上述的分析，本文对武汉城市圈区域农业低碳发展的研究主要以农林牧渔为研究边界，探讨武汉城市圈中心城市和地处武汉城市圈农村区域的农业低碳发展。

1.3 研究的主要内容

本文综合运用低碳经济学、区域经济学、农业经济学、循环经济和可持续发展理论等相关理论，结合国内外低碳农业发展相关实践，以“理论基础——发展的基础和条件——专题分析——发展的路径”为逻辑研究线索（图 1.1），初步形成武汉城市圈农业低碳发展与选择发展路径的研究思路。

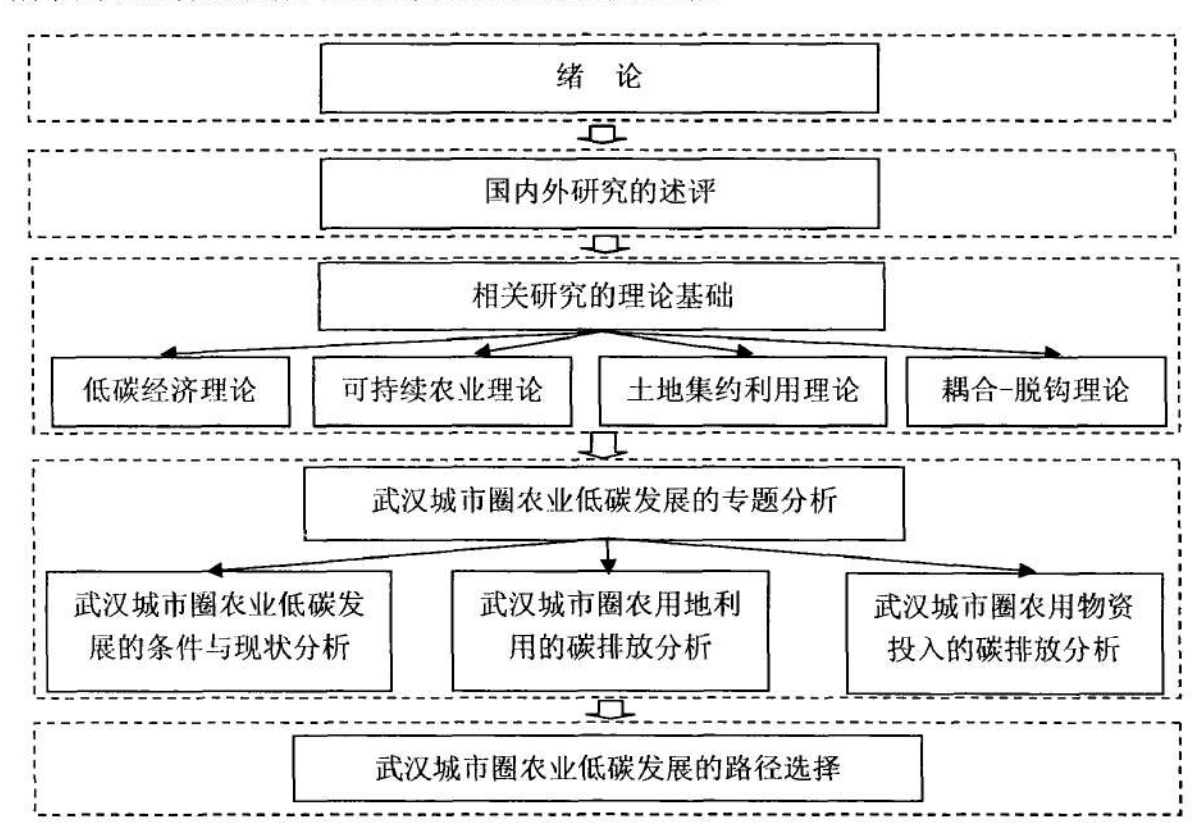


图 1.1 本文的逻辑主线

研究的主要内容有：

（1）首先论述研究武汉城市圈农业低碳化发展这一选题的背景和意义，介绍本文研究的主要内容、研究的方法和技术路线。其次对国内外有关低碳农业研究进

行述评，概述低碳农业经济相关理论基础。

（2）分析武汉城市圈农业经济低碳发展战略的基础条件：农业自然资源情况、农业产业结构、农业区域布局情况、农业能源资源、农业科学技术等方面，通过这些方面摸清武汉城市圈发展农业低碳发展的潜力以及存在的不足。

（3）通过测算和分析武汉城市圈农用地利用（主要是耕地、林地、草地）的碳排放效益和武汉城市圈农用地空间载体上的农业活动农用物资投入（农药、农膜、柴油、化肥等）所导致的碳排放，分析其时间序列变化特征和空间分布差异。从这两方面分析武汉城市圈在低碳经济潮流下农业低碳化发展的必要性以及为武汉城市圈农业低碳发展路径选择提供依据。

（4）通过对低碳农业相关理论分析和发展低碳农业有关实践经验，提出武汉城市圈发展农业低碳发展思路，依据以上的研究确定武汉城市圈农业低碳经济发展的路径。

1.4 研究方法和技术路线

1.4.1 研究方法

（1）文献资料法。通过查阅大量相关低碳经济、低碳农业文献，了解国内外研究现状，理清低碳农业有关理论，从而为本论文研究提供基础理论支撑。

（2）统计分析法。收集武汉城市圈土地利用现状数据，对武汉城市圈农用地利用结构现状统计分析，根据模型计算武汉城市圈农用地利用的碳排放量和碳排放强度。

从武汉城市圈各个市 2000-2011 年统计年鉴收集各个市 2000-2010 年农用物资（农药、化肥、农膜、农用柴油、农业灌溉）使用量。在此基础上，统计综合武汉城市圈农用物资使用量。根据模型计算出武汉城市圈农资投入排放量和碳排放强度。

（3）相关性分析。主要分析农用地利用结构与碳排放的关系。分析农用物资投入与碳排放的关系、农业经济水平与碳排放的关系。农用物资投入碳排放空间差异的聚类相关分析。

（4）对比分析法。在测算武汉城市圈各地区农用地利用产生的碳排放基础上，对比分析农用地利用碳排放的区域差异。在测算武汉城市圈各地区农用物资投入导致的碳排放量基础上，对比分析各个地区农资投入产生碳排放的空间差异。从上述两个方面比较武汉城市圈农业碳排放量的区域差异，分析武汉城市圈各个地区农业

碳减排或固碳的潜力优势。

1.4.2 技术路线

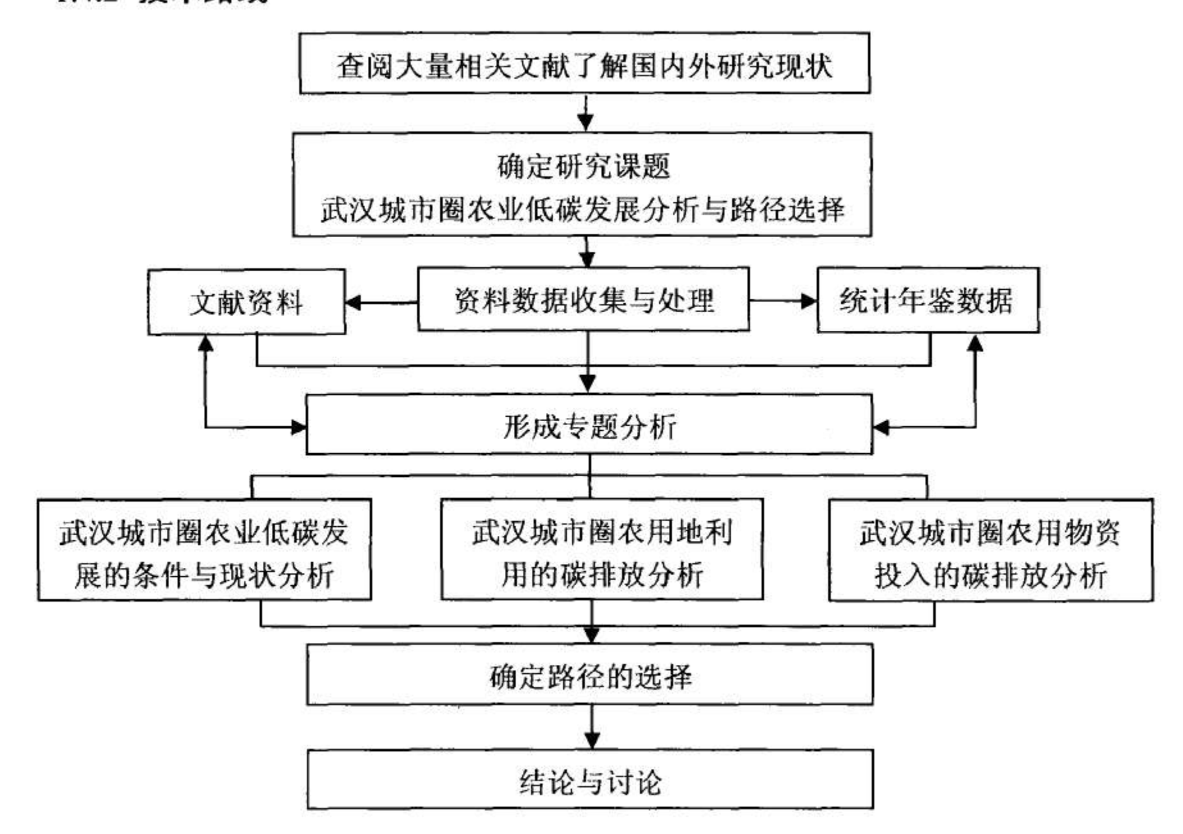


图 1.2 技术路线

第 2 章 国内外研究的述评

此部分主要在综合有关低碳农业内涵研究的基础上结合本文研究的主要内容对其内涵进行重新界定。对目前国内外低碳农业有关研究进行述评，在学习和借鉴前人的研究成果的基础上进一步探索低碳农业经济研究的空间。

2.1 低碳农业的基本内涵

据目前有关低碳农业的研究认为缘起于低碳经济，归属于低碳经济的下一级概念。中国农业部认为低碳农业的发展应以降低大气温室气体含量为目标，以碳减排、增加碳汇和适应气候变化技术为手段，通过农业生产方式和农民生活方式的根本转变，最终实现“高效率、低能耗、低排放、高碳汇”的农业[12]。王昀基于低碳经济的内涵出发认为低碳农业经济应当是在农业生产、经营中排放最少的温室气体，同时获得整个社会最大收益的经济[13]。罗吉文等认为低碳农业内涵具有低碳性、低耗性、持续性、系统性等多样性的特征[14]。骆世明认为低碳农业就是生物多样性农业，通过发展生物多样性农业实现我国高碳农业向低碳的转型是可行的[15]。

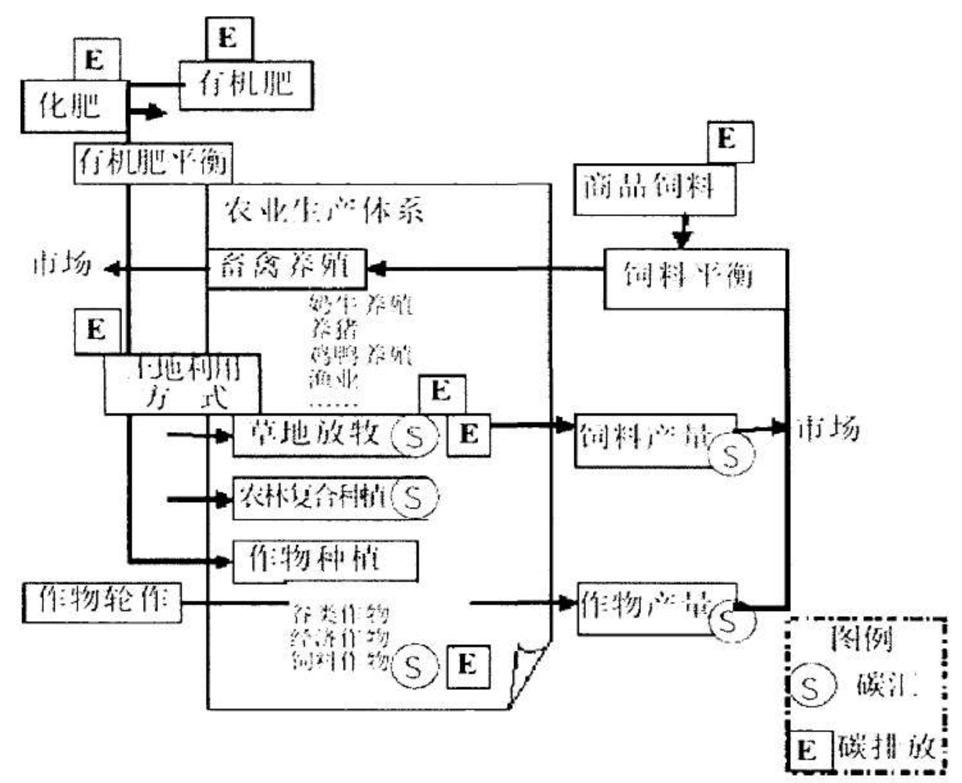


图 2.1 农业碳源和碳汇示意图[16, 17]

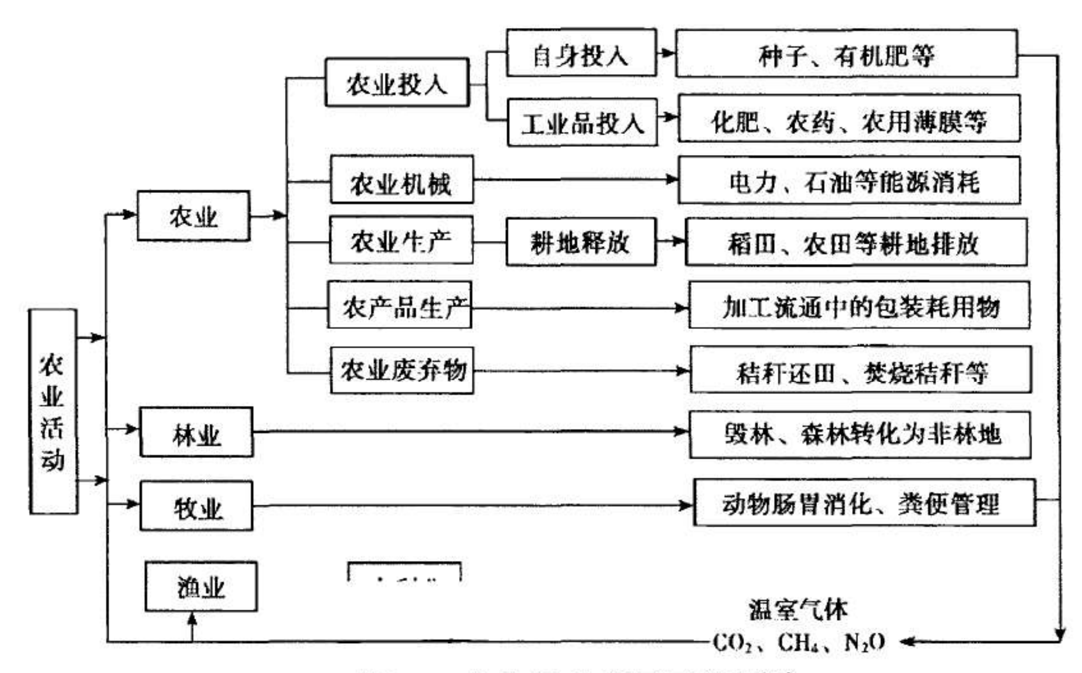


图 2.2 农业活动碳源示意图[18]

本文认为农业生态系统、森林生态系统等通过绿色植物光合作用和土壤有机质储碳可以实现农业的碳汇功能（图 2.1）。而农业活动如化肥、农药等工业品投入、畜牧业释放出的碳源、农用地利用如农田耕作对土壤碳汇的扰动这些是农业主要的碳源（图 2.1 和图 2.2）。农业低碳化发展应该充分发挥农业自身的碳汇功能，在保证农业经济效益前提下减量控制农业生产化学品等辅助能、合理的农用地利用，调整农业产业结构，转变农业生产方式。通过农业科学技术的创新发展农业低碳技术，规范的政策制度来抑制农业碳源和增加农业碳汇，降低农业碳排放量和碳排放强度，发展“高效率、低能耗、低排放、高碳汇”的农业，发挥低碳农业的“经济功能、生态功能和社会功能”[19]，最终实现农业的可持续发展。

2.2 国外低碳农业的研究述评

国外较早对低碳农业进行实践研究，在农业碳排放及影响因素方面，L.M.Vlee-shouwers 等认为由于地区土壤和气候等自然条件、农作物种植存在差异以及不同的减碳措施导致了碳排放效益具有空间差异性[20]。Tristram O.West 等分析农地政策的变化会影响农作物的碳汇能力以及土地的固碳能力进而来影响农业碳排放情况[21]。David Coley 等在英国实证分析得出消费者驱车到超过 6. 7km 距离的农场购买有机蔬菜，与到规模化供应地的产生碳排放量相比，其碳排放量偏高[22]。

对农业固碳及影响因素的研究，John M.Antle 等认为影响农业固碳政策的效率

有：空间异质性、合约设计类型，因地制宜采取有效的农业固碳政策对提高农业固碳的具有很大收益[23]。如何有效提升农地固碳功能，Freibauer 等在欧洲农地实证分析明确指出，可以采用严禁生物燃料开发、造林补贴、鼓励有机耕作以及更新政府低碳政策理念等措施[24]。R.LAL 认为发展中国家根据国情实况可通过免耕休耕、利用农作物废弃物覆盖、使用粪肥和堆肥等措施提高土壤肥力进而实现土地资源的可持续利用，在一定程度上保证土地的固碳能力。Alla Golub 等指出森林固碳应是减缓温室气体排放的主要战略措施，农业相关的碳减排，主要通过减少反刍动物甲烷排放量，其次是减少水稻的 CH_4 排放量和化肥的温室气体排放量[25]。

在低碳农业度量标准，2007 年 6 月，美国环保协会和杜克大学联合发布了名为“杜克标准”的《农业林业低碳经济应用》文件，这是全球第一部农业碳排放交易的核定标准和操作手册。

2.3 国内低碳农业的研究述评

国内在农业低碳经济的探讨集中在以下几个方面：农业碳源和碳汇及影响因素的分析、对低碳农业发展的必要性和可行性进行论证、农业低碳技术创新以及低碳农业发展模式等方面进行探讨，对我国区域性的低碳农业发展也有实例的研究。

在农业碳源和碳汇方面进行较早探讨是在农业温室气体的排放及其影响因子方面的分析，李明峰等研究了农田（旱田、水稻田）生态系统、饲养业以及这些农业生产产生的废弃物是农业温室气体排放的主要来源[26]，其中农田生态系统碳排放是目前的主要研究领域[27-29]，在未来应作为系统研究的重点。李波等[8, 30]认为在农业生产中农药、化肥、农膜、农业机械、农用柴油等几个方面是农业主要碳源，并实证分析我国农业碳排放具有阶段性的上升趋势。更多的学者从农业能源消耗角度测算农业的碳排放[31]，不合理的能源消费结构导致了农业碳排放量的增加。对影响因素分析主要是基于 Kaya 恒等式、LMDI 模型等对农业碳排影响影响因子进行分解[8, 31-33]，认为农业经济增长对碳排放主要起驱动作用，而提高农业资源利用效率、调整产业结构、技术进步、减少劳动力规模对农业减排具有促进作用。也有学者从农业经济投入产出分析农业低碳发展的影响因素，董谦等对河北省[34]和马伦姣对湖北省[35]回归分析表明了化肥施用量、农膜使用量、农业机械动力等投入虽然增加农业总产值但是对农业低碳化发展是限制性的因素。在农业碳汇潜力定量分析目前研究的较少，主要是对影响因素的分析并进一步提出对策来解决农业固碳和减排问题。

对低碳农业发展的必要性认识上，认为农业低碳化发展是应对气候变化和高碳农业发展下的农业经济发展的选择[14, 17, 36]，是农业现代化的本质要求[37]，是农业可持续发展的必然性[38-40]，农业低碳化发展有利于保护农业自然生态环境系统，保证农产品数量和质量的安全[41]，在低碳经济领域拥有巨大的发展潜力[42]。在低碳农产品的供给体系中，要协调好政府、农户与消费者的利益目标，保证有效的政府低碳政策、农户的成本收益和消费者的购买力度[43]，在农业领域实现向低碳的回归，可以保证农业低碳化的经济效益水平[44]。

对农业低碳技术发展，主要基于技术创新理论结合低碳农业的内涵，提出农业低碳技术的理论和方法，从推广有机农业、生态综合防控、利用生物质能、养殖粪便的处理、秸秆资源无害化处理、发展循环型农业、发展生态旅游和观光农业等七个方面构建低碳农业适应可行的技术[45]。有学者从具体领域探讨低碳农业技术，汪丽婷等分析畜禽粪便的能源化、饲料化和肥料化的高效循环利用技术[46]；朱小红等探讨了农作物秸秆的肥料还田(过腹过田、堆沤还田、直接还田)、饲料化、生产能源技术的低碳技术应用[47, 48]。在施肥技术[49]和保护性耕作技术[50]也有相关的研究。从其研究角度来看，比较局限于定性和对策的研究上，缺乏对低碳农业技术创新和机制的理论研究和系统分析，在农业边缘化、人地矛盾的制约，低碳农业技术如何推广的研究显得更为重要。

对低碳农业模式的研究方面，廖媛红通过对低碳农业发展模式理论基础的分析，提出构建低碳农业模式的总目标及分目标、实现路径与方式[51]。罗吉文构建了发展低碳农业的十种主要模式：有害品投入替代模式、节地模式、节水模式、节能模式、清洁能源模式、清洁家园模式、循环农业模式、产业链模式、农业观光休闲模式、碳汇模式[52]。目前低碳农业发展模式主要是以循环农业[53, 54]、有机农业[55]等作为实现农业低碳化的载体，停留在传统模式和方法基础上的分析，今后的研究方向是在此基础上有所突破创新。

我国在区域低碳农业的实证研究，主要集中在福建省[56, 57]、黑龙江省[58, 59]、四川省[60]、浙江省[61]、江苏省[62, 63]、河北省[34, 64]等，这些省域有关农业低碳化发展的研究主要是对基本的影响因素分析以及各地区农业生产条件等方面浅层次的分析，在此基础上提出低碳农业发展的相关对策建议，未涉及较深层的解析。

综上所述，目前多数相关研究成果集中于低碳农业的内涵、可行性、对策建议等方面，定性研究较多，定量研究较为少见，对于农业向低碳转型的机理、效益评价及路径等问题的研究比较欠缺。低碳农业转型研究虽然已经起步，在国内外都有有低碳农业相关的实证研究，我国主要集中在省域范围的研究，较少涉及到小区域

范围的研究。在目前的研究还没有构建起系统的低碳农业理论体系，从而使各国或地区的低碳经农业发展缺乏足够的理论指导。

具体政策机制的应用有待深入研究。采用何种模式、何种政策，何种驱动机制来促进科学的农业低碳发展，这些亟需加强对低碳技术创新的激励机制、低碳农业的驱动机制、调控机制及保障机制等方面的研究。在政策机制方面，尽可能借助实证和定量研究进一步的优化农业低碳化发展，获得农业经济增长与低碳转型的双赢。

本文选取了两个视角：农用地利用产生的碳排放和土地空间载体上的化肥、农膜、农药、能源等农用物资（简称农资）投入的碳排放来分析武汉城市圈农业低碳化发展，研究武汉城市圈农业碳排放的时空格局特征，从而选择武汉城市圈农业低碳化发展的路径。

第3章 研究的理论基础

概述相关基础理论是本论文研究的理论支撑。国际社会为应对大气中 CO_2 浓度的升高以及引起的全球气候变化、保障能源资源安全提出了发展低碳经济的策略。农业经济低碳应是低碳经济的重要组成部分，是指在农业生产、经营过程中排放最少的温室气体，同时获得整个社会最大收益的农业发展新模式。由于农业低碳化发展研究具有现实性和紧迫性，应当成为当前低碳经济研究领域的热点之一。

本文概述低碳农业发展的主要理论有：低碳经济理论、可持续农业发展理论、土地集约利用理论、“耦合-脱钩”理论，以此为指导武汉城市圈农业低碳发展。

3.1 低碳经济相关理论

“低碳经济”最早出现是在1998年Ann P. Kinzig 和 Daniel M. Kammen研究国际碳排放运动轨迹时涉及的[65]。直到2003年在《我们能源的未来：创建低碳经济》（英国能源白皮书）报告中正式对“低碳经济”定义[66]。低碳经济是以“低能耗、低排放、低污染”为基本特征[3]，是一个涉及能源、经济、环境系统的综合性问题，是一种新经济发展理念模式，把碳排放作为其新的价值衡量标准，为经济社会发展规制了一个新的游戏规则[4]。其实质在于能源利用高效率和推行清洁低碳的能源结构，技术和制度的创新、转变经济发展观念是其核心。

低碳经济具有经济性（市场经济、经济水平持续提高）、技术性（低碳技术创新）和目标性（碳减排）三大特征[67]。包含五个构成要素：低碳技术（动力）、低碳能源（核心）、低碳产业（载体）、低碳城市（平台）和低碳管理（保障）[68]。这个五个要是也是目前低碳经济研究的主题，它不仅是一种经济发展理念，更是一种经济发展的新模式。

3.2 可持续农业发展理论

由于现代科学技术及化学产品（农药、化肥、农膜等）在农业生产领域的大规模、大范围的投入使用，出现了农业投入成本过高、环境污染、生态破坏等问题，与社会经济发展不相协调。1981年，美国农业科学家莱斯特R·布朗在《Building a sustainable society》[69]专著系统的阐述“可持续发展观”理念，这为“农业可持续”发展奠定了一定的理论基础。1984年，哥尔丹K·道格拉斯提出并分析了“农业的

持续性”，之后得到世界各国的普遍关注。在1986年美国加利福尼亚州议会通过了“可持续农业研究教育法”并明确提出了“可持续农业”的发展战略与模式[70]。

可持续农业理论的提出为处理农业发展与资源、环境、生态等关系提供了有效的途径。可持续农业具有低投入、高效率、生态环保、劳动集约、土地集约等特性[71]。发展可持续农业可以提高土地生态利用、农业化学物品减量投入与提高其他农业资源的利用率，保持农业资源具有持久的开发潜力，巩固和改善农业发展的资源环境基础，低投入、高效率维持农业生产的经济可行，稳步提升农业持续生产力。

3.3 土地集约利用理论

土地集约利用的有关理论最早出现在农业用地的研究之中，李嘉图等古典经济学家在地租理论中阐述农用地集约利用就是在单位农用地面积上劳动生产资料和劳动力生产要素投入的增加，并借助先进的生产技术和管理方法，以求得在单位面积农用地上获得较高农业经济效益的一种农业生产经营模式[72]。由于土地面积的有限性，在一定的区域范围各类用地类型在质和量上存在一定的对比关系，为提土地利用效率必须形成合理的土地利用结构，对有限的土地进行节约集约利用。

土地利用是人类活动影响气候变化的重要驱动因素之一[73]。农业是以土地为载体的发展起来的，农业生产对土地利用影响着地表覆盖及生态环境必然也对气候变化施加一定的作用。农业用地低碳利用就是在低碳经济和低碳农业经济发展模式引导规范下，通过调整优化农业用地利用结构及提高农用地节约、集约利用从而降低农用地利用产生的碳排放量来实现农用地低碳化利用。在低碳经济背景下土地节约集约利用效率评价时应增加碳排放指标的评价[74]。

3.4 “耦合-脱钩”理论

“耦合-脱钩”理论通常用来分析经济增长与物质消耗不同步变化的实质。在一定时期，某个地区经济增长与物质消耗量是同比增长的，是耦合的关系；在后来的特定时期，物质消耗减少时，经济保持着增长趋势，二者并不同步，从耦合走向脱钩。

农业经济低碳化发展就是实现农业经济发展与碳排放之间的错位。农用物资投入促进了农业经济的发展，但是产生了大量的碳排放。从“耦合-脱钩”理论来看，要实现农业低碳发展，必须实现农用物资投入与农业经济发展的脱钩。

第 4 章 武汉城市圈农业低碳发展的条件与现状分析

武汉城市圈也称武汉“1+8 城市圈”，是湖北省 2003 年开始提出的区域概念，成立于 2004 年，是指以武汉为圆心，以 100 公里为半径呈放射状、层次性的空间布局区域，其地域范围和所包含的各市如图 4.1 所示。以武汉城市圈经济腹地联系强度划分为三个层次①：一是以武汉市为中心的核心区；二是以孝感、鄂州、黄石的紧密腹地；三是次紧密腹地：黄冈、咸宁、仙桃、潜江、天门。

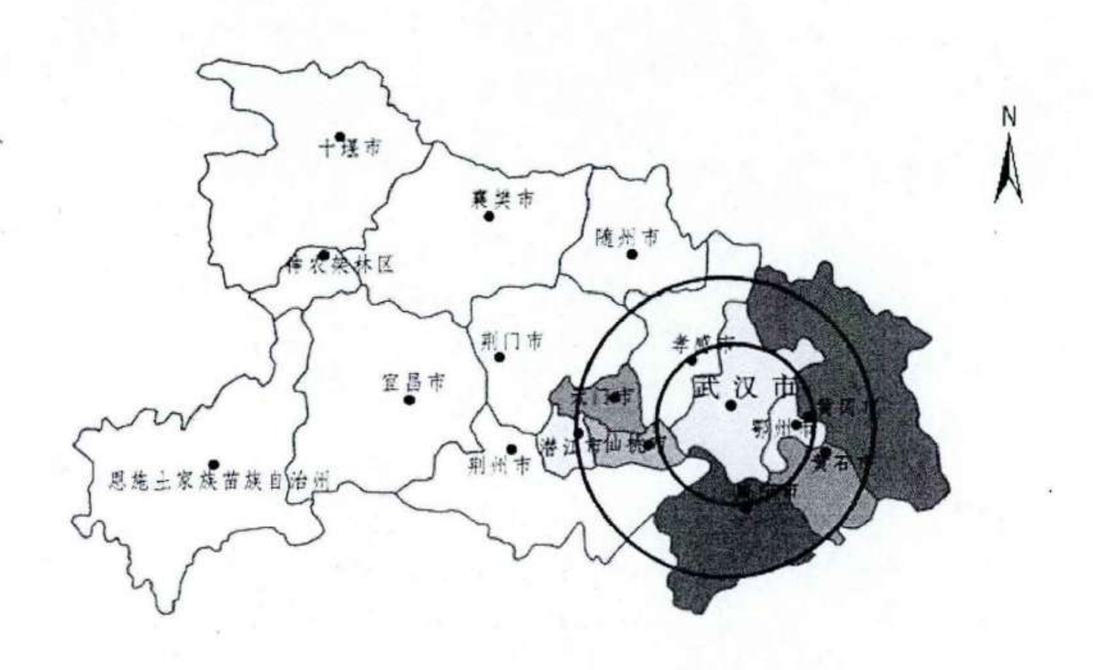


图 4.1 武汉城市圈在湖北省的区位示意图

武汉城市圈版图面积为 57967.88km^2，约占全省总面积（185937.41km^2）的 31.7%，不到湖北省的三分之一。2010 年，武汉城市圈常住人口数达 3024 万人，占湖北省的 48.96%，人口聚集度高。2010 年提供了地区生产总值达到 9635.76×10^8 元，占到全省（15967.61×10^8 元）的 60.35%；提供了 54.9%的地方财政收入、64.3%的消费品零售总额和 62.5%的固定资产投资额，从这些数据看出其产业和生产要素在整个湖北省是最密集也是最具活力的区域，是湖北省的经济核心区域，也是我国中部地区最具发展潜力的经济区域。作为中部崛起战略的重要组成部分和“两型社会”建设的试点区域，武汉城市圈对湖北省的经济发展的贡献能力强，集聚带动效应逐渐明显。该区域地处长江流域经济带和京广铁路经济带的汇合处，位于江汉平

①资料来源：根据刘承良，余瑞林. 武汉都市圈经济联系的空间结构[J]. 地理研究, 2007(1): 197-209.整理。

原的中心区域，具有发展农业得天独厚的条件，也是我国重要的粮食和经济作物主要产区之一。

低碳农业发展战略的确定，与其他农业形态发展一样，必须建立在对区域农业资源禀赋情况和现有农业经济水平分析基础上，因此有必要分析武汉城市圈农业资源条件、农业区域布局、农业产业结构、农业技术等条件，认识并理清这些基础条件和现状对探索农业低碳化发展有着特别重要的意义，也为后面探索武汉城市圈农业低碳发展路径提供了重要的依据。

4.1 武汉城市圈农业自然资源条件

4.1.1 气候和水资源

武汉城市圈属于亚热带季风性气候，冬季盛行干冷的西北季风，夏季盛行暖湿的东南季风。具有光照充足，年平均日照时数 1950-2210h，光合潜力大；雨热同季，降水丰沛，年降水 1000-1600mm，年平均降水量 1166mm[75]，气候湿润；日平均气温≥10℃的积温 4700-5400℃，生长期长；无霜期 250-300d，严寒期短的气候特点。这些有利的优势条件为武汉城市圈农业资源得以综合开发利用，适宜种植多种农作物，建设具有武汉城市圈特色的优质农副产品生产基地。也为武汉城市圈农业低碳发展提供了良好的自然条件。

此外，武汉城市圈地处长江中游，属长江水系，多年平均水资源量 7169×10^8 m^3，水资源充足，人均水资源量 2.335×10^4 m^3[76]。武汉市共有水域面积 2205.06 平方公里，黄冈、孝感、咸宁市水资源总量分别为 106.67、38.14、65.84 亿立方米，汉江、东荆河贯穿潜江、仙桃市，圈内水系发育，河渠纵横，大小湖泊星罗棋布，人均水资源拥有量约为全国人均水资源的 10 倍，水资源保障程度较高；天然河流、湖泊等水体约占总面积的 9.6%，依水而居、依水而聚、依水而兴是武汉城市圈的重要特色。

4.1.2 土地和耕地资源

武汉城市圈土地总面积为 $5.81\times10^4km^2$，其中黄冈市、孝感市和咸宁市三市面积占区域面积的 62.0%，武汉市面积占 15.0%，其余五个市只占 23.0%。其中，仙桃市、潜江市和天门市是三个最小。

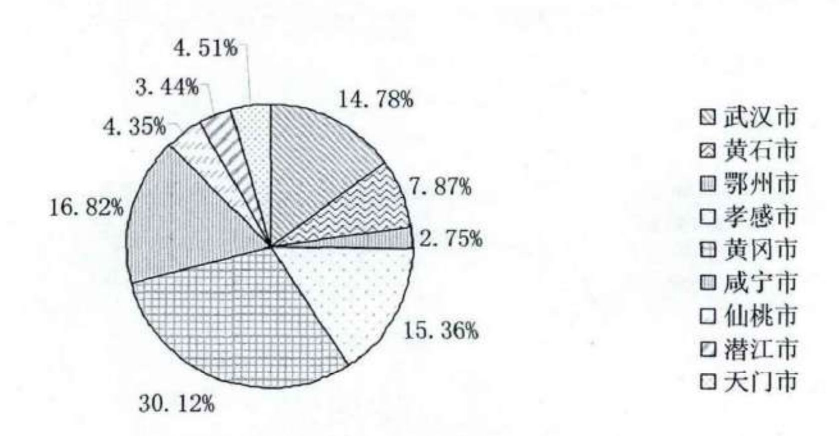


图 4.2 武汉城市圈各市的面积比例

整个城市圈平原（包括岗地）占土地总面积达 50%，囊括了湖北省内最大平原（江汉平原）和鄂东沿江平原，平原面积广阔；丘陵占土地总面积 30.0%；山地（中低山）占土地总面积 20.0%[75]。其中天然河流及湖泊占 9.6%（加上水库、坑塘等土地面积则高达 16.0%）。地貌类型多样，平原、岗地、丘陵和山地兼备，大致为“两山（20.0%的中低山）、两岗（20.0%的岗地）、三丘（30.0%的丘陵）、三原（30.0%的平原）”的格局。土地呈多层次环状分布，由内向外展布的土地利用类型有城镇、耕地、园地、草地和林地等[75]。平坦的地势，为武汉城市圈农业发展奠定了良好的地形地貌基础。

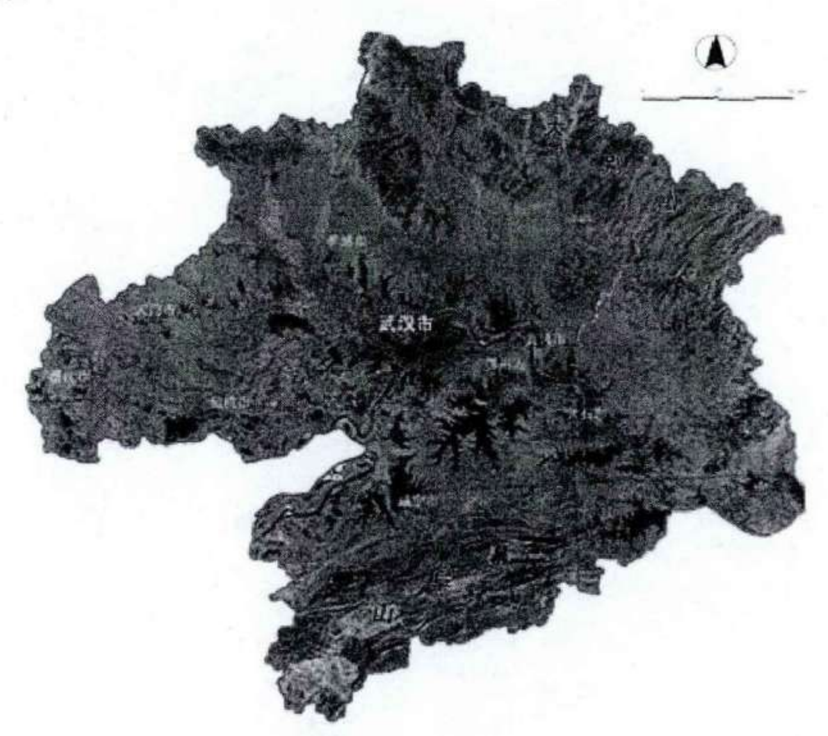


图 4.3 武汉城市圈遥感地形图

据湖北统计年鉴（2011年）分析武汉城市圈耕地资源占湖北省耕地面积总量的比重达40.9%。2010年末武汉城市圈耕地面积为1359.45千公顷，比2009年的1355.98千公顷增加3.0%，远低于湖北省的15.6%。人均拥有耕地2010年为0.045公顷，低于全省的人均耕地0.058公顷。与同期湖北省的水平相比，武汉城市圈农业耕地面积无论总量还是人均量都较低。

统计分析武汉城市圈2000-2010年近11年的耕地数量与产出资料表明(表4.1)：2003年以前武汉城市圈的耕地面积在减少，2004年开始逐年增加，但是增长的幅度很小，2004-2010年变化幅度在0.03%-0.27%之间。2003、2005、2008年耕地净增面积扩大的同时，而土地生产力却在下降，其中2005、2008年的耕地面积增长速度分别达到0.27%和0.25%，而粮食单产增长速度相应却为-0.56%、-0.10%，耕地利用存在数量增加与质量下降错位的情况，劣质耕地面积的增加平衡优质农田减少的数量，不断侵蚀了优质的土地生产力。

表4.1 武汉城市圈耕地数量与产出计算表（2000-2010年）

年份	耕地面积（10^3 hm^2）	粮食单产（kg/hm^2）	耕地面积增长速度（%）	粮食单产增长速度（%）
2000	1316.13	2245.32	-	-
2001	1304.17	2134.53	-0.12	-1.11
2002	1263.38	2255.40	-0.41	1.20
2003	1239.10	2246.54	-0.24	-0.09
2004	1264.55	2458.92	0.25	2.12
2005	1291.56	2403.26	0.27	-0.56
2006	1307.98	2530.35	0.16	1.27
2007	1319.98	2583.97	0.12	0.54
2008	1343.69	2573.84	0.24	-0.10
2009	1355.98	2637.39	0.12	0.64
2010	1359.45	2651.41	0.03	0.14

数据来源：根据《湖北统计年鉴（2001-2011）》整理计算分析所得。

4.2 武汉城市圈农业能源资源条件

农业的生产性能源是指在农业生产过程中所投入的能源，主要包括煤炭、石油、电力和其他少量的可再生能源[77]。农业生产需要消耗能源，随着农业现代化生产程度增加，包含着耗能总量的上升。从消费结构来看，武汉城市圈的农业生产性能源

主要以煤炭、石油和电力为主，2010年武汉城市圈农用柴油17.73万吨①，农业能源耗能量大，生物质能源比重小，农业能源结构不合理。有关数据统计表明，武汉城市圈单位GDP的能耗为1.47吨标准煤/万元，与湖北省平均水平相比高出12.2个百分点，与全国平均水平超出33.4个百分点[78]。煤炭、石油和电力等能源是农业现代化生产过程中不可缺少的投入生产要素，提高农业的生产效率，对创造农业产值作出了贡献。但是化石能源投入农业生产过程会排放出CO_2、SO_2等温室气体，对生态环境造成破坏。

从 1995-2008 年武汉城市圈农业资源利用效率与人均农业产值呈现了负相关关系，从 1995 年的平均农业资源利用效率为 3.13 到 2008 年下降到 2.56[79]。整个城市圈农业经济的增长是建立的资源高消耗的基础上，增加了农业生产的经济成本和生态成本，增加了碳的排放，与低碳农业“低投入、低能耗、低排放”特征相违背。

2007 年，武汉城市圈秸秆生产总量达 1004.39×10^4 t，其中以稻秆(产量为 517.37×10^4t)、油菜秆（产量为 195.42×10^4 t)、棉秆（产量为 84.90×10^4 t）为主，分别占秸秆总产出的 51.51%，19.46%和 8.40%，折合成标煤为 477.32×10^4 t[80]。清洁的生物质能源丰富，供给量大。多元综合利用生物质能源可以为武汉城市圈农村提供能源和保护农村农业环境。

4.3 武汉城市圈农业科技资源及服务性资源

科学技术的进步是农业生产发展的强大动力，在速水佑次郎和弗农•拉坦的“诱导技术变迁模型”[81]认为技术进步是决定农业发展的基本力量，是农业生产率增长的一个重要变量，并把它作为农业发展程度的一个衡量指标。低碳农业的发展需要引用一系列的科学技术，必须依赖于一定的技术创新，改善农业能源消耗和污染排放，在农业经济生产过程依靠技术进步实现节能减排，控制环境质量。

从武汉市来看，近五年来投入农业科技经费共达 1.5×10^8 元，农业重点科技计划 93 项，关键技术 56×10^8 元，直接新增产值 20×10^8 元，间接带动产值增加 250×10^8 元，仅 2009 年全市农业总产值就突破 250×10^8 元，农业增加值 149.06×10^8 元[82]。相比较而言，其它 8 个地区的农业科技贡献率低，农业经济生产科技含量还比较低，主要是以经验农业为特点的小农经济，农业经济发展程度和农业科技发展水平还相对落后。

2006 年，武汉城市圈农业技术人员数量总计 2.75 万人，占湖北省的 3.94%，大

① 数据来源：根据《湖北统计年鉴》(2011）相关资料整理。

约占武汉城市圈总人口的 0.09%，农业技术人员组成低。其中村内农业技术人员为 0.69 万人，占湖北省村内农业技术人员的 26.60%；农业生产经营单位农业技术人员为 2.06 万人，占湖北省农业生产经营单位农业技术人员的 46.94%[①]。从这些指标说明了武汉城市圈农业劳动力科技水平还较低，影响着科学技术转化农业产出的效率，影响着农业总产出增加和农业劳动生产率水平。

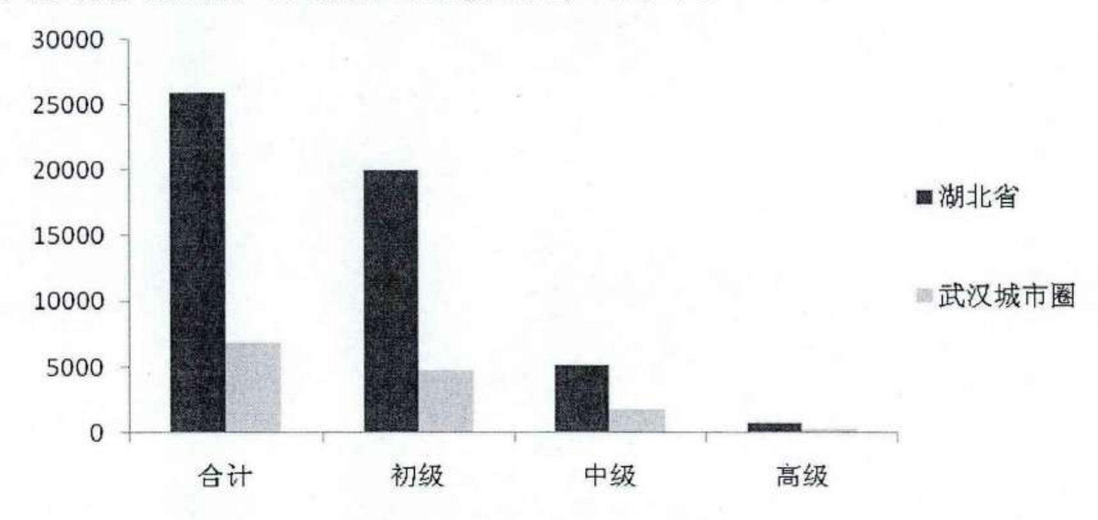


图 4.4 武汉城市圈村内农业技术人员数量[②]（单位：人）

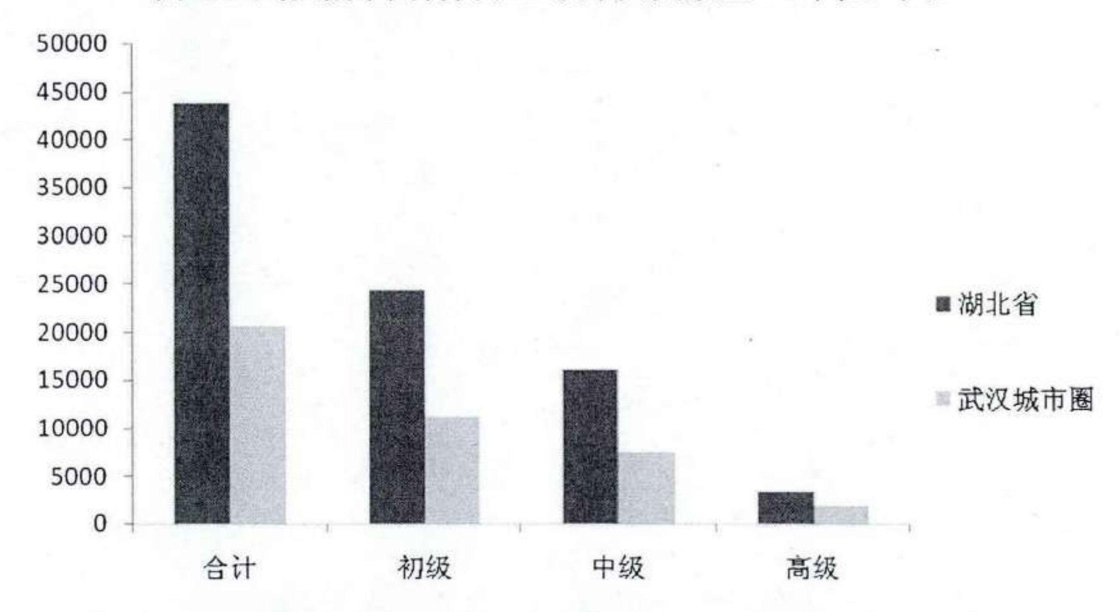


图 4.5 武汉城市圈农业生产经营单位农业技术人员数量[③]（单位：人）

实现农业的现代化离不开农业的机械化，从目前武汉城市圈农业机械数量来看，占主导地位的是小型拖拉机及其配套农具，大中型拖拉机数量相对较少，联合

[①]数据来源：根据《湖北省第二次农业普查资料汇编》(农业卷)相关资料整理。湖北省统计局，2010，5：158-159.
[②]数据来源：根据《湖北省第二次农业普查资料汇编》（农业卷）相关资料整理。湖北省统计局，2010，5.
[③]数据来源：根据《湖北省第二次农业普查资料汇编》（农业卷）相关资料整理。湖北省统计局，2010，5.

收割机 2006 年末只有 0.59 万台。从各种农业技术使用情况来看，农业的许多生产环节实现机械化操作，农机装备覆盖了种植业、林业、牧业、渔业等产前、产中、产后全过程。机耕、机电灌溉、喷灌滴灌面积占耕地面积比重各个地区分布具有不平衡性，机耕面积比重除鄂州、孝感、仙桃、天门地区高于全省 34.72%的水平，其余各市略低。机电灌溉面积比重各地区与全省相比，比重相对较高。鄂州、孝感的机播、机收面积比重相对较大，农业技术化水平高。

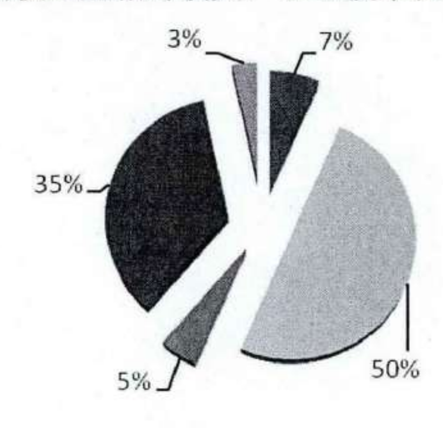


图 4.6 武汉城市圈年末拥有农业机械数量[①]（2006 年）

农业机械化作业环节不断延伸拓宽。水稻育插秧、机械直播、联合收割机、节水喷灌、经济作物生产加工（如机动脱粒机）等技术作为重点推广应用。到 2010 年，湖北省农业生产耕、种、收等综合机械化水平达到 56%，机械耕作、机械播栽整、机械收获面积分别达 6300、860、3900 万亩[83]。截止 2010 年，武汉城市圈农业机械总动力 1297.65 千瓦特，大中型农用拖拉机混合台 4.69 万台，大中型机引农具 7.25 万部，小型及手扶拖拉机机引农具 22.17 万部，农用水泵 40.34 万台，机动脱粒机 7.41 万台，农用汽车 4.34 万辆。

表 4.2 武汉城市圈各地区农业技术措施应用情况(2006 年)

地区	占耕地面积比重（%）				占播种面积比重（%）	
	机耕面积比重	机电灌溉面积比重	喷灌面积比重	滴灌灌溉面积比重	机播面积比重	机收面积比重
全省	34.72	29.09	0.20	0.33	1.76	19.85
武汉市	23.00	53.72	0.37	0.29	0.49	5.31
黄石市	11.81	13.75	0.10	1.02	0.52	4.36
鄂州市	45.06	55.9	0.20	0.07	0.77	32.66
孝感市	37.51	50.55	0.59	0.28	1.55	22.1

[①]数据来源：根据《湖北省第二次农业普查资料汇编》（农业卷）相关资料整理。湖北省统计局，2010，5.

黄冈市	24.84	17.08	0.32	0.50	0.12	15.36
咸宁市	24.84	17.08	0.32	0.50	0.12	15.36
仙桃市	35.18	53.57	0.09	0.19	0.23	26.61
天门市	44.26	31.46	0.19	0.07	3.02	28.17
潜江市	26.4	41.52	0.05	-	0.026	15.46

数据来源：根据《湖北省第二次农业普查资料汇编》（农业卷）相关资料整理。

4.4 武汉城市圈农业产业结构

据《湖北统计年鉴（2011）》统计显示：2010 年，武汉城市圈生产总值 9635.76 亿元，占全省生产总值的 60.35%。第一产业占 9.88%，第二产业占 46.47%，第三产业占 43.65%，三次产业结构表现“二三一”结构。

表 4.3 武汉城市圈 2006-2010 年三次产业结构产值比重（单位：亿元）

项　　目	2006	2007	2008	2009	2010
生产总值	4599.44	5556.74	6972.11	8000.41	9635.76
第一产业	11.77%	11.52%	10.92%	10.28%	9.88%
第二产业	44.39%	44.57%	45.49%	46.28%	46.47%
第三产业	43.84%	43.91%	43.59%	43.44%	43.65%

注：按当年价格计算。数据来源：《湖北统计年鉴（2007-2011）》相关资料整理。

从 2010 年武汉城市圈各市三次产业结构产值比重（表 4.4）来看，只有武汉产业结构表现为第三产业比重＞第二产业比重＞第一产业比重，三次产业结构大致为 3.06:45.51:51.44。这主要因为武汉市是我国中部地区信息、技术、能源、资源等交流和交换的战略节点，在教育科研、交通通讯、金融商贸、信息服务等行业具有区际意义，在武汉城市圈属于典型的经济较为发达的产业比例模式[84]。潜江、鄂州、黄石三市第二产业比重超过 50%，第三产业比重也不低，第一产业比重较低。黄冈市第一产业比重最高达 28.64%，三次产业结构大致为 28.64:38.06:33.30，比例合理，但是第二、第三产业优势不突出。

表 4.4 武汉城市圈各市 2010 年三次产业结构产值比重（%）

地　区	第一产业	第二产业	第三产业	产业结构类型
武汉市	3.06	45.51	51.44	“三二一”
黄石市	7.77	57.22	35.01	“二三一”
鄂州市	13.02	58.53	28.46	“二三一”
潜江市	16.58	52.31	31.10	“二三一”
仙桃市	18.60	47.40	34.00	“二三一”
咸宁市	19.41	45.70	34.90	“二三一”

孝感市	21.38	45.08	33.54	“二三一”
天门市	25.30	45.77	28.48	“二三一”
黄冈市	28.64	38.06	33.30	“二三一”

数据来源：根据《湖北统计年》（2011）相关资料统计所得。

2010 年，武汉城市圈农林牧渔业总产值为 1546.24×108 元，占湖北省农业总产值的 44.79%，人均农业产值（包括农业、林业、牧业、渔业）为 5187.3 元[①]。从武汉城市圈农业内部结构来看，农林牧渔比重还是不均衡（表 4.5），2000-2010 年种植业、林业的比重逐渐下降，牧叶、渔业比重呈增加趋势。

表 4.5 武汉城市圈 2000、2005、2010 年农业产值比重（单位：亿元）

年度	合计	种植业	比重	林业	比重	牧业	比重	渔业	比重
2000	571.71	328.19	57.40%	13.08	2.29%	144.54	25.28%	85.9	15.03%
2005	835.30	450.04	53.88%	18.07	2.16%	223.59	26.77%	143.6	17.19%
2010	1546.24	752.17	48.65%	32.63	2.11%	458.66	29.66%	302.78	19.58%

注：按当年价格计算。数据来源：《湖北统计年鉴》（2001）（2006）（2011）相关资料整理。

根据《湖北统计年鉴（2011）》数据为依据，对武汉城市圈 2010 年各地区的农林牧渔业产值比重分布情况进行统计分析，从而获得武汉城市圈农业产业结构的空间布局现状（图 4.7），进一步分析武汉城市圈农业内部产业空间分布的差异性。

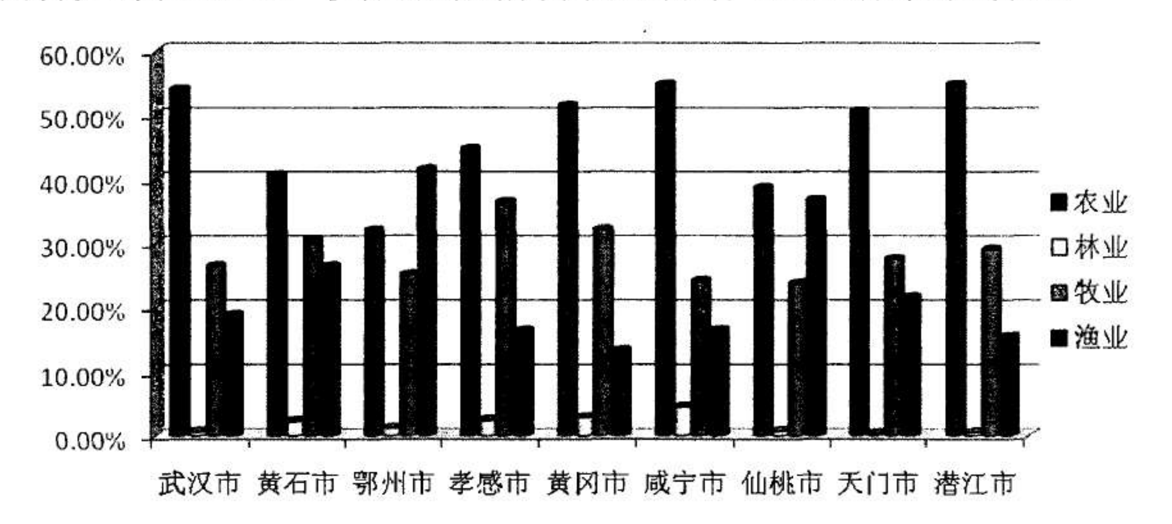


图 4.7 武汉城市圈农林牧渔业空间分布情况（2010 年）

2010 年，武汉城市圈农业总产值排在前四位的地区依次是黄冈市、孝感市、武汉市、咸宁市。从产业分布来看，种植业主要分布在潜江市、咸宁市、武汉市、黄冈市和天门市；林业主要分布在咸宁市、黄冈市、孝感市、黄石市、鄂州市；畜牧业主要分布在孝感、黄冈、黄石、潜江、天门；渔业主要分布在鄂州、仙桃、黄石、

① 数据来源：根据《湖北统计年鉴》（2011）相关资料整理所得。

天门、武汉。

从地区来看，武汉市主要以种植业和牧业为主，二者产值达 225.14 亿元；黄冈市以种植业为龙头，产值达 189.13 亿元，其种植业产值比重占整个武汉城市圈最高；在孝感、潜江、天门、咸宁、黄石地区主要以种植业和牧业为主，而林业和渔业比重较低。鄂州和仙桃地区主要以种植业和渔业为主。

以上对武汉城市圈农业产业结构进行分析，了解武汉城市圈整体的农业产业结构的演化特征，也分析了各个地区农业内部结构特征及其地区布局情况。通过对这些的分析为农业低碳化发展把握住优势条件，优化布局，使产业发展低碳化。

4.5 武汉城市圈农业产业区域布局

根据湖北省“两圈一带”的总体发展战略，湖北省的农业发展“十二五”规划将全省农业区划为三大区域，武汉城市圈范围内的农业布局（图 4.8）主要包括“武汉城市圈‘两型’农业试验区”和“沿江优势农业带两大区域”。并根据区域的自然条件、区位环境因素、农业发展基础确定各个区域农业主体功能（表 4.6）。

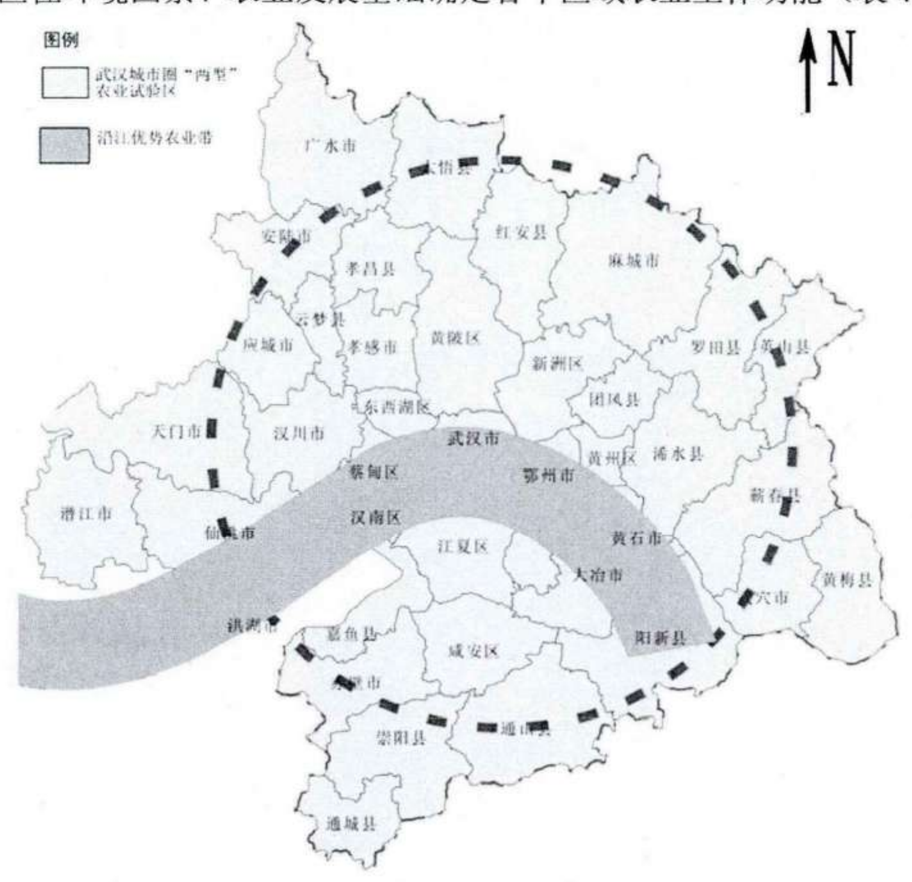


图 4.8 武汉城市圈农业区域布局

这两大农业区域的发展特征如下：

4.5.1 “两型”农业试验区

“两型”农业试验区区域范围涵盖武汉市区及黄陂区、新洲区、东西湖区；黄冈市；黄石的大冶、阳新；鄂州部分地区；咸宁市；仙桃市；潜江市；天门市；孝感市9个城市的农业区域。这些农业区域具有较高的经济发展水平、较好的农业生产发展的基础条件，农业科技力量强，是湖北省农副产品生产、加工的密集区。“两型”农业试验区应重点发展产业：优质稻米、棉花、水产品，商品蔬菜、“三元”猪和“双低”油菜等优势农产品和优质绿茶、优质蜂产品、优质水果、优质中药材、特色禽蛋、牛奶、花生、苎麻等特色农产品的生产与加工。

武汉市区及与其近邻的东西湖、蔡甸、汉南、洪山、江夏、黄陂、新洲等地区应着力发展科技含量高的现代新型农业以及以服务市民生活与美化环境为主要目标的现代都市农业。

地处武汉市周边的紧密腹地（孝感、鄂州、黄石）和次紧密腹地（黄冈、咸宁、仙桃、潜江、天门）是全省重要的粮、棉、油等农产品产区与加工区，农业生产基础条件较为优越，农业劳动力数量多且素质较高。应着力发展以“高质、高效、生态”为特征的现代集约农业。

表4.6 武汉城市圈农业区域布局特征及农业主体功能

区域类型	所辖县（市、区）	主要区域特征	农业主体功能
“两型”农业试验区	武汉、黄石、鄂州、孝感、黄冈、咸宁、仙桃、潜江、天门9个城市。	地处鄂东南区，东北（大别山余脉）和东南（幕阜山余脉）为低山丘陵区，中部为江汉平原区。	“两型”农业科技示范区；基地型农业（都市农业、精致农业、旅游观光农业、优质农产品加工）。
沿江优势农业带	武汉、黄石、鄂州、黄冈、咸宁等5个市的县市区。	地处长江沿岸，以平原为主。自然条件优越，肥沃的土质，河湖广布，水资源富集，有系统的农田水利灌溉。水陆交通方便。	优势农产品与特色经济作物生产与加工产业带；优质畜牧水产养殖与加工带。

4.5.2 沿江优势农业带

沿江优势农业区包括武汉市及邻近的蔡甸区、汉南区、江夏区；黄石市及大冶市、阳新县；鄂州市；黄冈的黄州区、浠水县等；咸宁市嘉鱼县等5个市的县市区的农业区域。本区地处长江沿岸，以平原地形为主。也是江汉平原农业区的主体部

分，自然条件优越，肥沃的土质，河湖广布，水资源富集，有系统的农田水利灌溉。水陆交通方便。

沿江地区是促进促进湖北省经济发展乃至中部地区崛起的重要增长极。利用沿江水利、航运交通等优势，抓住沿长江的经济优势，打造沿江农产品、水产品、经济作物等特色农业带，以此推进武汉城市圈农业集约化发展和产业化进程。依托本区的优势应重点发展的优势产业带有：优势粮食作物（如优质稻米）与特色经济作物（如“双低”油菜、优质花生）生产与加工产业带、优质畜牧水产养殖与加工带。

第5章 武汉城市圈农用地利用的碳排放分析

5.1 武汉城市圈农用地利用现状分析

目前对"农用地"概念的解释较为模糊，有"农用土地"、"农用地"、"农地"等说法，更多学者将农用地简称为农地。在《中华人民共和国土地管理法》(2004年04月28日通过)第四条对农用地的解释是指直接用于农业生产的土地，包括耕地、林地、草地、农田水利用地、养殖水面等类型[85]。在《土地利用现状分类及其含义》（全国农业区划委员会和土壤普查专业组编制）中对农用地的解释系指农林牧副渔各业生产用地，大体包括耕地、园地、林地、草地和陆地水面等。文中研究分析提及农业用地、农地均表示农用地，指直接用于农业生产利用的土地。为研究数据获取方便分类引用的是全国第二次土地调查分类方法，武汉城市圈农地利用主要包括耕地、园地、林地、草地等。

5.1.1 武汉城市圈土地利用现状

根据2009年湖北国土厅第二次全国土地调查的数据①，武汉城市圈土地总面积579.679×10^4 hm^2，由土地利用现状分类统计数据分析显示（如图5.1)，其中耕地②面积为210.143×10^4 hm^2，占土地总面积36.25%；林地③为168.800×10^4 hm^2，占土地总面积29.12%；园地④为114.169×10^4 hm^2，占土地总面积的2.44%；草地⑤11.107×10^4 hm^2，占土地总面积1.92%；水域及水利设施用地⑥为101.195×10^4 hm^2，占土地总面积的17.46%；城镇村及工矿用地⑦为53.833×10^4 hm^2，占土地总面积9.29%；交通运输用地⑧为10.760×10^4 hm^2，占土地总面积的1.86%；其他土地⑨面积为9.672×10^4 hm^2，在土地总面积中的比重为1.67%。

---

① 本文采用的土地利用分类是全国第二次土地调查分类，其中把商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地合并为城镇村及工矿用地。
② 耕地包含水田、水浇地、旱地。
③ 林地包含有林地、灌木林地、其他林地。
④ 园地包含果园、茶园、其他园地。
⑤ 草地包含天然牧草地、人工牧草地和其他草地。
⑥ 水域及水利设施用地包含河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沿海滩涂、内陆滩涂、沟渠、水工建筑用地、冰川及永久积雪。
⑦ 城镇村及工矿用地包含城市、建制镇、村庄、采矿用地、风景名胜及特殊用地。
⑧ 交通运输用地包含铁路用地、公路用地、农村道路、机场用地、港口码头用地、管道运输用地。
⑨ 未利用地包含设施农用地、田坎、盐碱地、沼泽地、沙地、裸地。

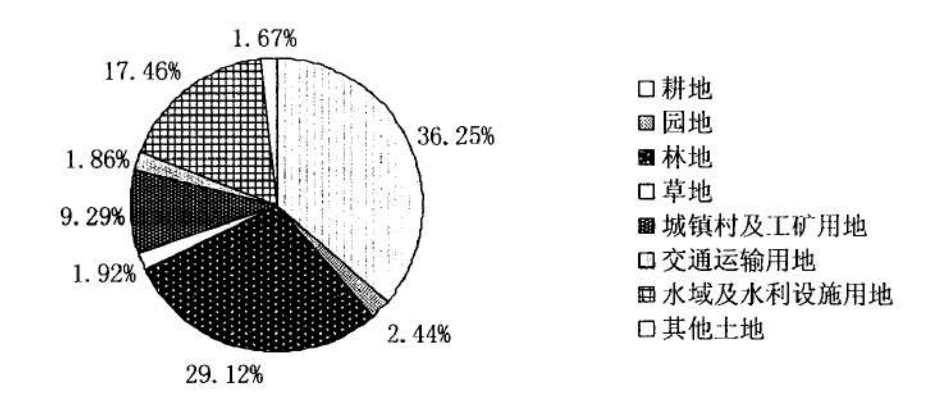


图 5.1 武汉城市圈土地利用结构现状（2009 年）

由图 5.2 和表 5.1 得出，在总体数量上武汉城市圈各个地区土地利用结构差异较大，分布不均，其中黄冈市、咸宁市、孝感市、武汉市四市在区域内面积较大，耕地与城镇村及工矿用地分布较多。在城镇村及工矿用地和交通运输用地方面，武汉市、鄂州市、天门市和仙桃市在本市所占比例较高，武汉市和黄冈市的城镇村及工矿用地和交通运输用地各占本类型总面积的 47.0%，工业经济对建设用地的需求较大，城市化水平也较高。在水域和水利设施用地上，武汉市、黄冈市和孝感市占了 59.0%，在其他用地的比例上，黄冈市最高，占 41.0%。在未利用地方面，武汉市和黄石市所占比例较大，说明土地利用潜力的较大，后备土地资源相对较多。

武汉市作为城市圈最发达的城市，建设用地面积比重最大，需求也不断加大，这就要求在城市区域内要合理搭配土地利用布局，因地制宜，保证土地最合理的途径，实现区域推动最合理的布局。

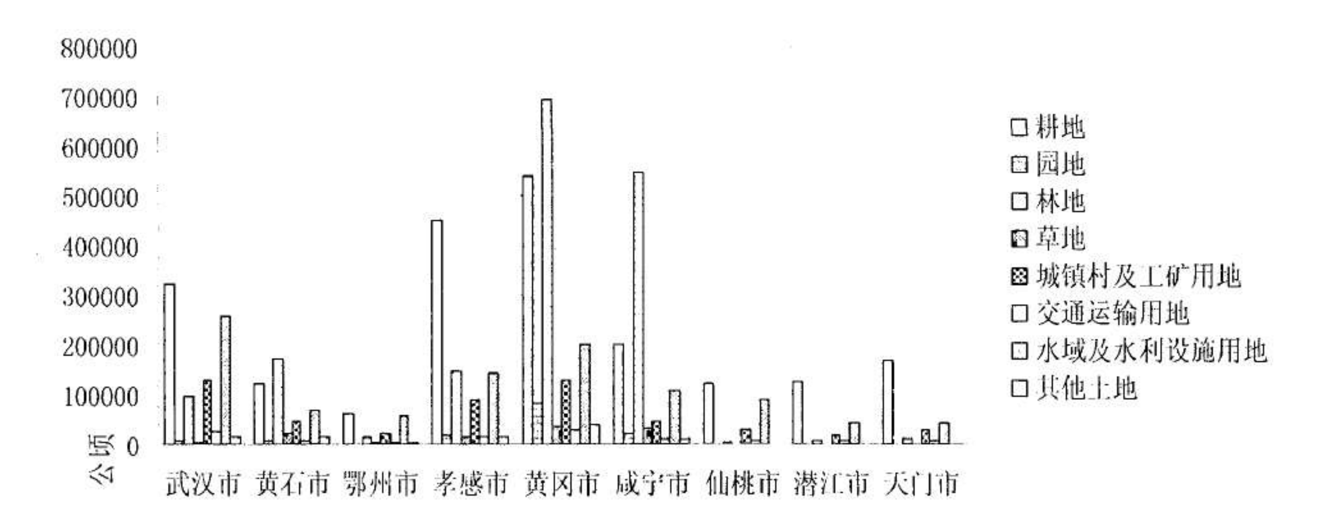


图 5.2 武汉城市圈各市土地利用结构（2009 年）

表 5.1 武汉城市圈土地利用类型结构（2009 年）

行政区划	耕地	园地	林地	草地	城镇村及工矿用地	交通运输用地	水域及水利设施用地	其他土地
武汉市	37.44%	0.96%	11.44%	0.46%	15.16%	2.84%	29.84%	1.86%
黄石市	26.39%	1.56%	37.38%	4.74%	10.22%	1.39%	15.23%	3.10%
鄂州市	37.14%	0.58%	9.33%	1.69%	13.19%	1.86%	34.93%	1.29%
孝感市	50.39%	2.20%	16.26%	1.59%	10.03%	1.70%	16.23%	1.61%
黄冈市	30.92%	4.69%	39.71%	1.95%	7.44%	1.54%	11.53%	2.21%
咸宁市	20.38%	2.19%	55.95%	3.37%	4.71%	1.25%	11.03%	1.11%
仙桃市	47.85%	0.30%	1.79%	0.27%	11.05%	2.44%	36.15%	0.15%
潜江市	62.53%	0.44%	3.23%	0.03%	8.99%	3.06%	21.66%	0.06%
天门市	64.47%	0.35%	3.78%	0.36%	11.37%	2.92%	16.63%	0.12%
合计[①]	36.25%	2.44%	29.12%	1.92%	9.29%	1.86%	17.46%	1.67%

数据来源：根据全国第二次土地调查湖北省土地利用现状数据整理。

5.1.2 武汉城市圈农用地利用结构分析

武汉城市圈农地利用主要包括耕地、园地、林地、草地等，为研究数据获取方便主要来源全国第二次土地调查湖北省土地利用现状数据。根据统计数据显示，2009 年末武汉城市圈农用地面积 4041955.02 公顷，各类农用地利用类型的结构（图 5.3）。

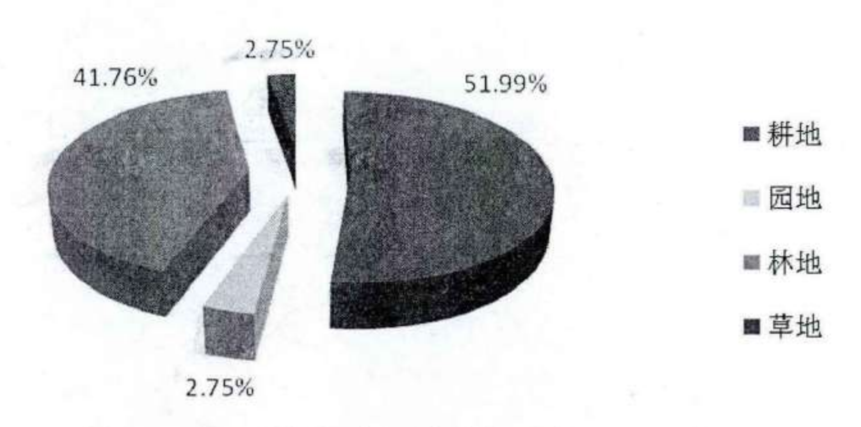


图 5.3 武汉城市圈农用地结构现状（2009 年）

2009 年武汉城市圈耕地总面积 2101419.77 公顷，占总农用地面积的 51.99%，区域耕地面积占总城市圈土地面积比重 36.25%，在耕地保护方面需要加大力度。各市的耕地数量存在明显差异，耕地主要分布在仙桃、潜江、天门、鄂州等地区，地

[①] 此处合计为各类土地类型的面积占区域总面积的比例。

处平原地形耕地面积广；黄石市、咸宁市低于40%，主要由于地处低山丘陵区。

武汉城市圈林地面积1687879.52公顷，占总农用地面积的41.76%。区域分布主要是在咸宁市、黄石市、黄冈市，占农用地面积比重都超过50%，所占比例最高，应注意保护林地面积，实现林地的生态效益。

武汉城市圈草地面积110973.56公顷，占总农用地面积的2.75%。区域分布主要在黄石市、咸宁市和鄂州市，所占比重分别为6.76%、4.11%、3.46%。而武汉市、仙桃市、潜江市、天门市等地区所占比重不足1.00%。

武汉城市圈园地面积141682.17公顷，占总农用地面积的3.51%。园地在武汉城市圈主要分布在黄石市、咸宁市、黄冈市地区。

从上述分析来看，生态用地（林地、草地等）主要分布在黄冈市、黄石市、咸宁市等地区，在这些地区应充分发挥生态地的环境效益，并进一步探索经济效率。

表 5.2 武汉城市圈农用地利用类型结构（2009年）

行政区域	耕地	园地	林地	草地
武汉市	74.47%	1.91%	22.73%	0.89%
黄石市	37.72%	2.22%	53.30%	6.76%
鄂州市	76.21%	1.18%	19.14%	3.46%
孝感市	71.54%	3.12%	23.09%	2.26%
黄冈市	40.00%	6.07%	51.39%	2.53%
咸宁市	24.90%	2.68%	68.31%	4.11%
仙桃市	95.31%	0.59%	3.56%	0.54%
潜江市	94.42%	0.66%	4.87%	0.05%
天门市	93.48%	0.51%	5.48%	0.53%

数据来源：根据全国第二次土地调查湖北省土地利用现状数据整理。

5.2 武汉城市圈农用地利用的碳排放效益分析

根据目前已有的研究将土地利用碳排放定义为特定空间单元上土地利用所导致的所有直接或间接的碳收支效果[86]。土地利用的直接碳排放系指人类对土地直接利用即以土地为劳动对象如土地利用类型转变或保持所驱动下产生的碳排放效应；土地利用的间接碳排放系指人类将土地作为劳动要素在土地空间载体上进行生产、生活活动所导致的其他人为源碳排放。农用地利用碳排放主要是人类将农地作为劳动对象而进行的直接农用地（包括耕地、园地、林地、草地等）利用行为产生的碳排放，也是本章内容研究的主体，从区域和区际视角分析武汉城市圈各类农用地利用碳排放情况。

5.2.1 武汉城市圈区域农用地利用的碳排放效益

耕地利用种植农作物虽然具有吸收CO_2的作用，但在一定时间内又排放到大气中，碳蓄积作用并不明显，因此可将耕地视为碳源。主要探讨耕地、园地的碳排放；林地、草地和园地的碳吸收。区域农用地利用的碳排放计算技术路线（图 5.3）。

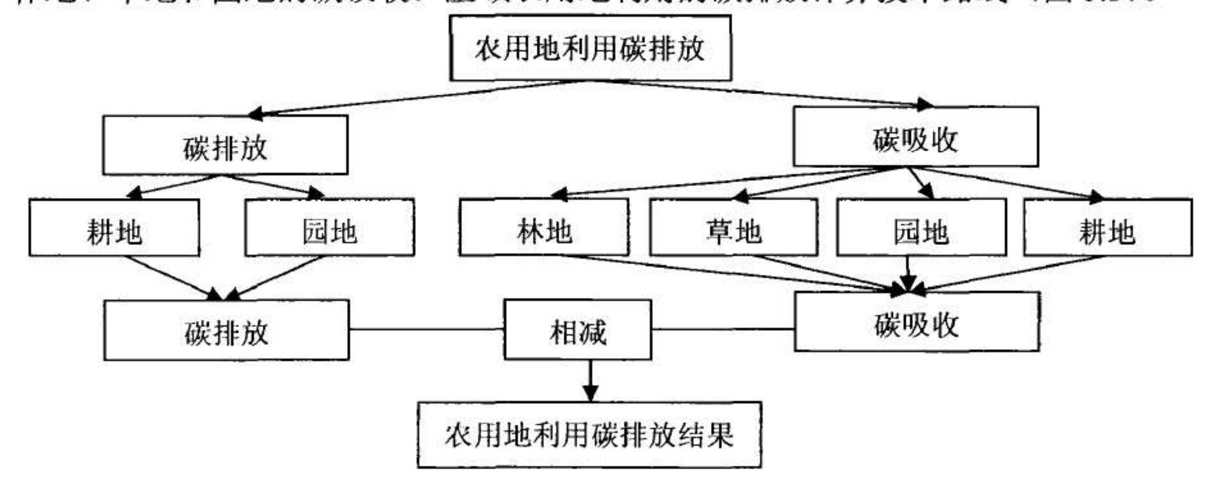


图 5.3 区域农用地利用的碳排放计算技术路线

对农用地利用碳排放量的核算具体采用的是排放系数法。农用地利用碳排放的测算公式[87]：

$$Ce = \sum Ce_n = \sum S_n \times \delta_n \qquad (5.1)$$

式中：

Ce 表示研究区域农用地碳排放总量，单位：t;

Ce_n 表示研究区域 n 类农用地利用方式产生的碳排放量，单位：t;

S_n 表示 n 类农用地利用方式对应的土地面积，单位：hm^2;

δ_n 表示 n 类农用地利用方式的碳排放（吸收）系数，单位：t C/hm^2。

碳排放（吸收）系数是根据有关研究经验数据[87-89]得出的统计平均值，归纳出各类农用地利用方式的碳源（碳汇）系数（表 5.2）。由于目前对园地碳排放的研究较少，经资料查询未获得园地碳排放系数，故园地不在本次的研究范围。利用各类农用地“单位面积碳排（碳汇）系数”和各类农用地的面积数据相乘，根据计算得出研究区域的农地利用碳排放情况。

表 5.2 土地利用方式的碳排放（吸收）系数（单位：t C/hm^2）

项目	耕地[87,88]	林地[89]	草地[89]
碳排放系数	0.422	--	--
碳吸收系数	--	-0.644	-0.02

注：表中负号表示碳吸收。缺少园地碳排放系数。

根据 2009 年湖北国土厅第二次全国土地调查的耕地、林地、草地、园地面积数据（表 5.3），引入耕地、林地、草地等农用地利用方式的碳排放系数，对武汉城市圈区域农用地利用引发的碳排放情况进行定量分析。

表 5.3 武汉城市圈 2009 年农用地面积数据表（单位：hm^2）

行政区域	耕地	园地	林地	草地
湖北省	5324195.71	497093.97	8664735.03	294059.09
武汉城市圈	2101419.77	141682.17	1687879.52	110973.56
武汉市	320622.96	8244.04	97851.90	3848.96
黄石市	120738.11	7107.30	170642.38	21639.74
鄂州市	59288.22	919.66	14889.13	2694.01
孝感市	448660.10	19554.92	144800.59	14147.04
黄冈市	539658.89	81921.19	693296.18	34123.36
咸宁市	198836.91	21397.46	545584.03	32829.39
仙桃市	120543.47	748.02	4507.66	678.53
潜江市	124640.06	870.04	6431.19	66.09
天门市	168431.05	919.54	9876.46	946.44

数据来源：根据全国第二次土地调查湖北省土地利用现状数据整理。

根据公式 5.1 和表 5.3 的武汉城市圈各类农用地利用数据分别计算出湖北省和武汉城市圈农用地利用的碳排放量（表 5.4）。

表 5.4 武汉城市圈 2009 年各类农用地利用碳排（汇）量（单位：10^4 t）

区域名称	耕地	林地	草地	碳排放总量
湖北省	224.681	-558.009	-0.588	-333.916
武汉城市圈	88.680	-108.699	-0.222	-20.241

注：表中负号表示碳吸收。由于缺少园地碳排放系数，园地碳排量未计算。

据表 5.4 得出：2009 年武汉城市圈区域农用地利用处于碳汇的状态，碳吸收量 20.241×10^4 t。这主要是由于林地的碳吸纳作用，碳吸纳 108.699×10^4 t。武汉城市圈 2009 年林地面积达为 $168.80\times10^4 hm^2$，占土地总面积 29.12%，对碳的吸收能力强。草地的碳吸收能力较小，只有 0.222×10^4 t。与同期湖北省农地利用碳排放相比，武汉城市圈区域碳汇强度还是较弱，只占全省碳汇总量的 6.06%。湖北省也是由于林地占绝大面积达 46.60%，而耕地利用面积只有 28.63%，林地利用对碳吸收量抵消了因耕地利用产生的碳排放量，表现为碳汇的状态。

通过估算 2009 年武汉城市圈各类农用地每变化 1%的碳源或碳汇边际变动情况，分析表明：武汉城市圈耕地面积每增加 1 hm^2 则碳排放量增加 0.422 t；林地面积每增加 1 hm^2 则碳吸收量增加 0.644 t，仅占耕地利用碳排放量的 1.526%。武汉城市圈耕地的碳排放强度为 0.422 吨碳/公顷，高于我国耕地的碳排放强度 0.37 吨碳/

公顷[90]；武汉城市圈林地的蓄积强度为 0.644 t C/hm^2，林地的碳吸纳强度大于我国林地的蓄积强度 0.49 t C/hm^2[90]，一定程度上增加林地利用面积可以抵消因耕地利用增加的碳排放量，具有明显的碳吸纳效果。

5.2.2 武汉城市圈农用地利用碳排放效益的区域差异

为进一步分析武汉城市圈各个市不同区域碳排放总量的空间差异和变化，采用 2009 年各个市农用地面积数据（表 5.3），利用公式 5.1 计算出武汉城市圈 9 个市农用地利用碳排放总量（表 5.5）。采用 ArcGIS 软件绘制了武汉城市圈各地区农地利用碳排放的空间分布图（图 5.4），将表 5.5 数据对应显示到武汉城市圈区域地图上直观的显示武汉城市圈农地利用产生碳排放的空间分布格局。

表 5.5 武汉城市圈 2009 年各区农用地利用碳排（汇）量（单位：10^4t）

区域	耕地	林地	草地	碳排放总量
孝感市	18.933	-9.325	-0.028	9.580
武汉市	13.530	-6.302	-0.008	7.221
天门市	7.108	-0.636	-0.002	6.470
潜江市	5.260	-0.414	-0.001	4.846
仙桃市	5.087	-0.290	-0.001	4.795
鄂州市	2.502	-0.959	-0.005	1.538
黄石市	5.095	-10.989	-0.043	-5.938
黄冈市	22.774	-44.648	-0.068	-21.943
咸宁市	8.391	-35.136	-0.066	-26.810

注：表中负号表示碳吸收。数据来源：根据湖北省第二次土地利用调查现状数据整理计算。

由表 5.5 和图 5.4 表明，从武汉城市圈各个地区来看，由于农用地利用结构差异性，各个区域碳排放量存在显著的空间差异。从图 5.4 中颜色越深的地区表示农地利用碳排放量越多，颜色越浅则表示农地利用导致的碳排量较少，甚至有些地区农地利用具有碳汇现象。

因各类型农用地利用产生碳排放总量主要分布在武汉城市圈中西部，包括孝感、武汉、天门，累计碳排放总量超过 22 万吨。其中孝感市碳排放总量最多，排放总量为 9.580 万吨。潜江、仙桃、鄂州碳排放总量较少，累计 11 万吨。这些地区处于江汉冲积平原区和沿江平原区，地势低平、土壤肥厚，耕地利用面积比重大，耕地利用每增加 1 hm^2 增加 0.422 t 碳排放量，主要是碳源。而咸宁、黄冈、黄石主要是碳汇，主要是因为黄冈、咸宁地区处于鄂东北和东南低山丘陵区，鄂东北有大别山脉、鄂东南有幕阜山脉，林地面积大，碳汇强度高。

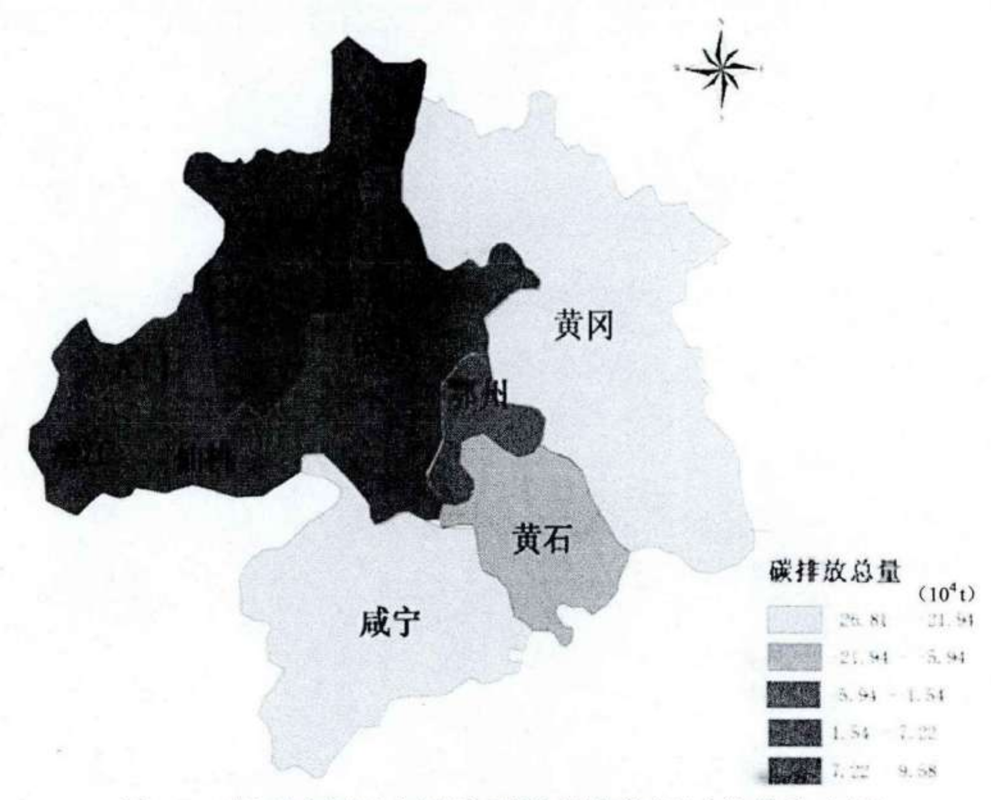


图 5.4 武汉城市圈农用地利用碳排放区域差异分布图

5.2.3 武汉城市圈农用地结构对碳排放影响分析

武汉城市圈农用地利用主要包括耕地、园地、林地、草地等，综合上述的分析可以得出武汉城市圈农地利用结构对碳排放具有一定的相关性，其中耕地是武汉城市圈农地利用的主要碳源，耕地比重越大导致的碳排放量就越多；林地和草地主要是碳蓄积作用，林地的碳汇强度大于草地，林地面积比重越大对农业的固碳效率就越明显。

从武汉城市圈农用地结构现状来看，林地占农用地总量的41.76%，而林地是武汉城市圈农业主要碳库，具有较强的吸纳碳能力。加强林地的经营管理保持林地生态系统的自然固碳能力，对减少武汉城市圈农用地利用碳减排有促进作用。

因此，合理的调整农业用地利用结构对武汉城市圈农业碳排放有一定的作用，通过提高各类农业用地的集约利用率，合理规划武汉城市圈农用地利用，实现农用地利用的低碳化。

第 6 章 武汉城市圈农资投入的碳排放分析

农业活动碳排放是指农业生产活动过程中在土地空间载体上的化肥、农膜、农药、能源（文中指农用柴油）等农用物资（简称农资）投入，以及农业废弃物资源（如秸秆）处理过程中所直接或间接产生的温室气体的排放[30]。据《中华人民共和国气候变化初始信息通报》，在 1994 年由我国农业活动导致的 CH_4 排放约为 1720 万吨，约占全国 CH_4 总排放量（3429 万吨）的 50%；农业活动 N_2O 排放量约为 78.6 万吨，约占全国 N_2O 总排放量（85 万吨）的 92%。

基于农用物资投入视角分析农业活动的碳源主要来自五个方面：①化肥；②农药；③农膜；以上三类农用物资在农业生产投入施用过程中所导致的碳排放。④农用柴油：由于农业机械运作消耗化石燃料而直接或间接所产生的碳排放；⑤灌溉：在农业生产灌溉过程中的间接消耗碳基燃料而导致的碳释放。

对农用物资投入导致碳排放的核算具体采用的是排放系数法。农用物资投入碳排放的测算公式：

$$Ea = \sum Ea_n = \sum T_i \times \lambda_i \tag{6.1}$$

式中：

Ea 表示研究区域农业投入物资总碳排放量，单位：t；

Ea_i 表示研究区域各类碳源排放的碳量，单位：t；

T_i 表示研究区域各类碳源排放的碳量，单位：t；

λ_i 表示各类碳排放源的碳排放系数。

农资碳排放系数来自有关研究经验数据[91-93]。化肥碳排放系数来源于 West TO[91] 和美国橡树岭国家实验室的经验系数[92]，化学农药碳排放系数来源美国橡树岭国家实验室[92]，农膜碳排放系数来源南京农业大学农业资源与生态环境研究所，农业灌溉碳排放系数来源 Dubey A Lal R[93]，农用柴油碳排放系数来自 IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会。农业活动各类碳源的碳排放系数可以归结为表 6.1。

表 6.1 农用物资投入种类及碳排放系数

碳源	化肥	农药	农膜	柴油	灌溉
碳排放系数	0.8956 $kg \cdot kg^{-1}$	4.9341 $kg \cdot kg^{-1}$	5.18 $kg \cdot kg^{-1}$	0.5927 $kg \cdot kg^{-1}$	25 $kg \cdot Cha^{-1}$

6.1 武汉城市圈农用物资碳排放的测算

为了测算武汉城市圈农业生产活动投入物资的碳排放，从《湖北农村统计年鉴》（2001-2011）、《武汉统计年鉴》（2000-2011）、《孝感统计年鉴》（2000-2011）、《黄冈统计年鉴》（2000-2011）、《黄石统计年鉴》（2000-2011）、《咸宁统计年鉴》（2000-2011）、《潜江统计年鉴》（2000-2011）、《天门统计年鉴》（2000-2011）、《仙桃统计年鉴》（2000-2011）提取武汉城市圈各个市 2000-2010 年的化肥、农药、农膜、农用柴油、农业实际灌溉面积数据（表 6.2）。化肥、农药、农膜、农用柴油数据主要是武汉城市圈各个市当年实际使用量为准。农业灌溉以武汉城市圈各个市实际灌溉面积为准。由于鄂州市统计数据较难获取，故不在本次研究的范畴。

表 6.2 武汉城市圈 2000-2010 年各类农用物资投入量

年份	化肥 10^4t	农药 10^4t	农膜 10^4t	柴油 10^4t	有效灌溉面积 hm^2
2000	85.698	3.652	2.630	19.229	110.712
2001	99.325	3.775	2.649	21.681	110.584
2002	97.762	4.310	2.771	21.254	111.683
2003	101.459	4.392	2.869	18.183	112.101
2004	104.263	4.741	2.647	19.816	111.996
2005	106.362	4.897	2.749	19.630	110.633
2006	108.257	5.568	2.760	19.828	110.985
2007	104.600	5.639	2.739	20.209	111.095
2008	120.339	5.811	2.941	20.810	112.623
2009	124.756	4.816	2.153	18.345	112.781
2010	128.470	5.767	2.882	22.665	110.712

数据来源：武汉城市圈各个市 2000-2011 年统计年鉴相关数据整理所得。

根据给出的农业碳排放计算模型，核算了武汉城市圈 2000-2010 年农业活动碳排放量并分析其时间序列特征，又以 2009 年武汉城市圈各个市的横断数据比较各个地区农业活动碳排放的空间差异特征。从时空特征分析武汉城市圈基于农资投入视角的农业活动碳排放特征，为武汉城市圈农业低碳发展的路径选择提供一定的依据。

6.1.1 武汉城市圈农资投入碳排放的时序特征

根据上述的分析资料，依据公式 6.1 测算了武汉城市圈 2000-2010 年农业活动碳排放量（表 6.3）。

表 6.3 武汉城市圈农资投入碳排放情况（2000-2010 年） 10^4 t

年份	农用化肥	农药	农用薄膜	农用柴油	农业灌溉	排放总量	环比增速	强度（t/hm²）	环比增速
2000	76.751	18.020	13.622	18.319	1.892	128.604	-	1.008	-
2001	88.956	18.625	13.722	20.655	2.267	144.225	12.15%	1.140	13.12%
2002	87.555	21.266	14.353	20.249	2.264	145.688	1.01%	1.188	4.19%
2003	90.867	21.669	14.860	17.323	2.287	147.005	0.90%	1.222	2.88%
2004	93.378	23.390	13.712	18.879	2.295	151.655	3.16%	1.238	1.32%
2005	95.258	24.160	14.238	18.701	2.293	154.651	1.98%	1.236	-0.17%
2006	96.955	27.475	14.296	18.890	2.265	159.881	3.38%	1.262	2.11%
2007	93.680	27.822	14.189	19.253	2.273	157.216	-1.67%	1.229	-2.60%
2008	107.775	28.670	15.235	19.826	2.275	173.780	10.54%	1.334	8.52%
2009	111.731	23.765	11.150	17.478	2.306	166.430	-4.23%	1.266	-5.12%
2010	115.058	28.454	14.926	21.593	2.309	182.341	9.56%	1.383	9.26%
年均递增率	4.13%	4.67%	0.92%	1.66%	2.01%	3.55%	-	3.21%	-

数据来源：根据武汉城市圈各地区 2000-2011 年统计年鉴相关数据计算所得。

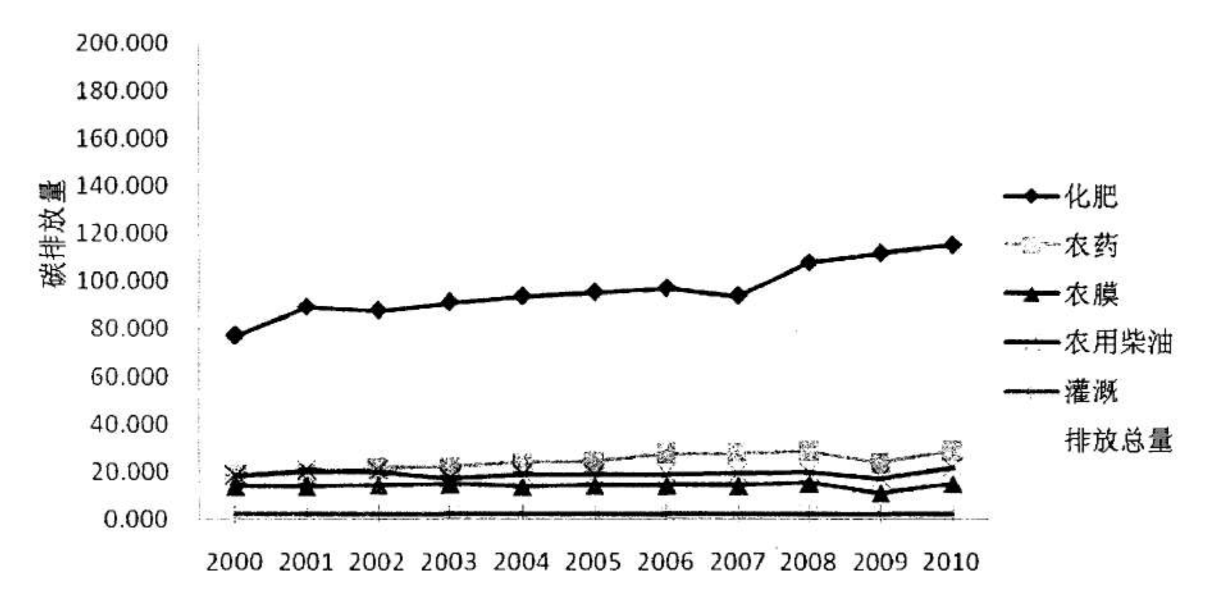


图 6.1 武汉城市圈 2000-2010 年农资投入碳排放量（单位：10^4t）

计算结果分析，从表 6.3 和图 6.1 表明武汉城市圈从 2000 年到 2010 年由于化肥、农膜、农药、农业灌溉、农用柴油投入导致的农业活动碳排量逐年增加，具有明显的上升趋势。农业物资投入碳排放总量从 2000 年 128.604×10^4 t 到 2010 年增加到 182.341×10^4t，年均增长 3.55%的碳排放量。从各类物资投入产生碳排放量来看都有不同程度的增加，农用化肥碳排量年递增率为 4.13%；农药碳排量年递增率为 4.67%；农用薄膜碳排量年递增率为 0.92%；农用柴油碳排量年递增率为 1.66%；

农业灌溉碳排量年递增率为 2.01%。从 2000 年到 2010 年武汉城市圈农业活动碳排放强度来看，农业物资投入的碳排放强度与碳排放总量保持一致的增长趋势（图 6.3），从 2000 年的 1.008 t/hm^2 到 2010 年的 1.383 t/hm^2，年均增长率 3.21%。但是农资碳排放强度的环比增长率呈波动变化且略有所下降，2001 年最高增长率达 13.12%，到 2010 年环比增长率为 9.26%。

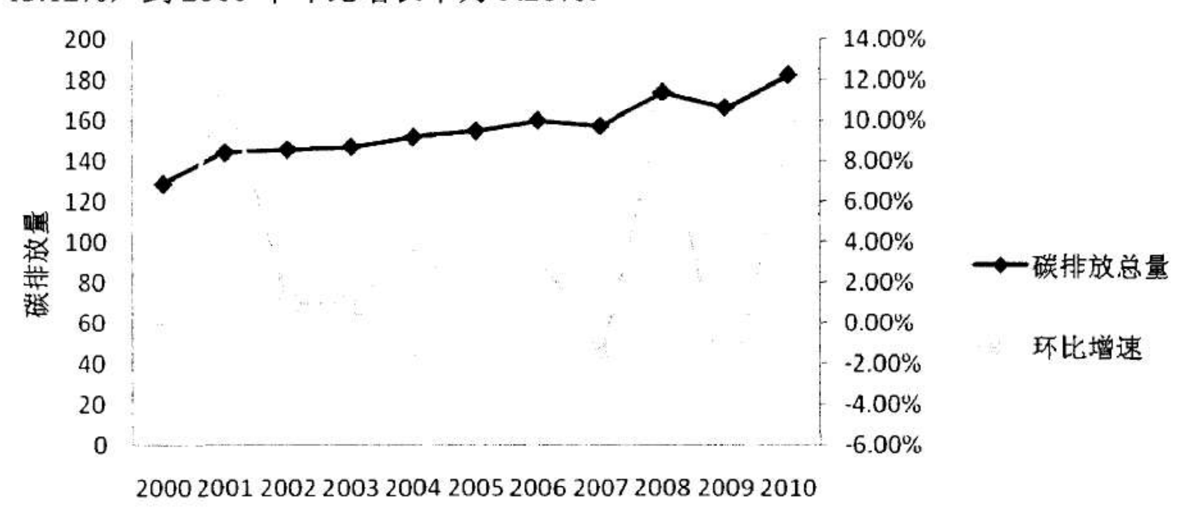


图 6.2 武汉城市圈 2000-2010 年农业碳排放总量（10^4 t）及年均环比增速

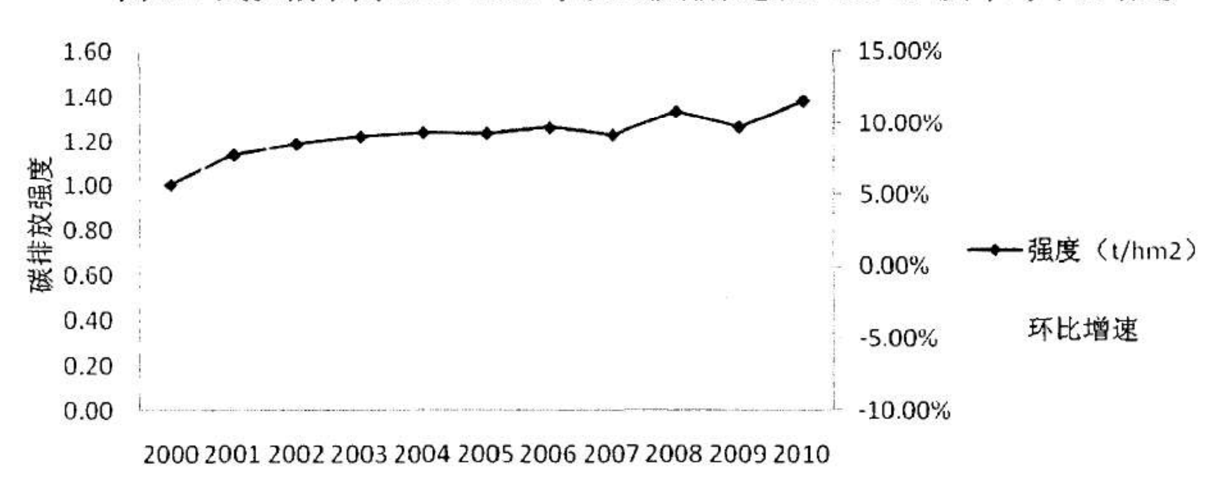


图 6.3 武汉城市圈 2000-2010 年农业碳排放强度（t/hm^2）及年均环比增速

据图 6.2 分析表明，武汉城市圈农业物资投入碳排放总量从 2000-2010 年具有逐年增加的趋势，但是在各个阶段存在着不同的增速。根据农资碳排量环比增速的变化差异将武汉城市圈农业活动碳排放分为三个阶段：

（1）2000-2001 年，为武汉城市圈农业活动碳排快速增长阶段，年均增速达最大值 12.15%。2001 年为了提高生产效率，化肥、农用柴油投入量增加，导致了碳排放总量和碳排放强度的增加。

（2）2002-2006 年，为武汉城市圈农业活动碳排平稳增长阶段，年均增速率介于 0.90%-3.38%之间。2002 年由于化肥、农用柴油投入量的减少，碳排放量整体有所降低，碳排放强度下降。2004 年中央的“两减免、三补贴”的惠农政策，促使农业生产的积极性，对农用物资的投入随之增加，2004-2006 年武汉城市圈农业活动的碳排量也是在增加。

（3）2007-2010 年，为武汉城市圈农业活动碳排回升波动增长阶段。从 2007 年增长率-1.67%到 2008 年年均增速达到了 10.54%；2009 年出现了一个低谷，排放量相比 2008 年少 7.35 万吨，增速为-4.23%，从 2009 年年均增速-4.23%到 2010 年年均增速回升到 9.56%，呈现波动的增长趋势。

2007 年碳排放强度出现一个拐点，主要是作为重要碳源的化肥投入量减少，使得碳排放量和强度的降低。2008 年我国出现严重的雪灾，给农业生产带来了严重的灾害，各类农用物资投入量迅速增加，加速了碳排放量。2008 年武汉城市圈两型社会建设的实施，在农业领域就是减少化肥、农药等各类农资的投入量，保护农业环境，2009 年武汉城市圈取得明显的效果，农业碳排放量明显的一个低值。而 2010 年碳排量继续升高，由于两型社会建设是个复杂的探索过程，是曲折前进的，今后有必要在农业领域继续探索科学的发展道路，保证农用物资投入的减量节约。

6.1.2 武汉城市圈农资投入碳排放的空间差异

上述主要从时间序列探究武汉城市圈农用物资投入碳排的趋势，为进一步了解武汉城市农业活动碳排放的空间区域分布差异，本文采用 2009 年武汉城市圈各地区统计年鉴（鄂州市数据缺少）的农药、化肥、农膜、农用柴油、农业灌溉等的数据，根据公式 6.1 计算了武汉城市圈各地区农资投入的碳排放量，接着计算出了各地区的农资碳排放强度（表 6.4）。采用 ArcGIS 软件绘制了武汉城市圈各地区农资投入碳排放总量的空间布局图（图 6.4），将表 6.4 的数据对应显示到武汉城市圈区域地图上直观的显示武汉城市圈农业活动碳排放的空间分布状况。

表 6.4 武汉城市圈各市农业投入碳排放情况（2009 年）

区域	化肥（10^4t）	农药（10^4t）	农膜（10^4t）	农用柴油（10^4t）	农用灌溉（10^4t）	排放总量（10^4t）	碳排放强度（t/hm^2）
湖北省	304.735	68.536	31.753	50.969	4.812	460.805	1.393
城市圈	111.731	23.765	11.15	17.478	2.306	166.43	1.266
黄冈市	42.038	8.516	3.552	4.889	0.557	59.551	1.785
孝感市	19.621	4.605	2.144	2.981	0.451	29.802	1.143
武汉市	14.558	4.522	3.508	2.884	0.396	25.868	1.255
咸宁市	10.010	1.064	0.467	3.835	0.216	15.592	1.008



仙桃市	6.473	3.026	3.247	1.705	0.192	14.643	1.612
潜江市	8.389	1.929	0.699	1.083	0.159	12.259	1.757
天门市	6.739	2.593	0.269	1.686	0.219	11.507	1.063
黄石市	3.903	2.031	0.772	1.298	0.117	8.121	0.896

数据来源：根据武汉城市圈 2010 年各地区统计年鉴相关数据整理计算所得。

由表 6.4 和图 6.4，明显的看出武汉城市圈农业活动碳排在总量和碳排放强度存在明显的区域差异分布。从图 6.4 中颜色越深的地区表示农业活动碳排放量越多，颜色越浅则表示农业活动导致的碳排量较少。

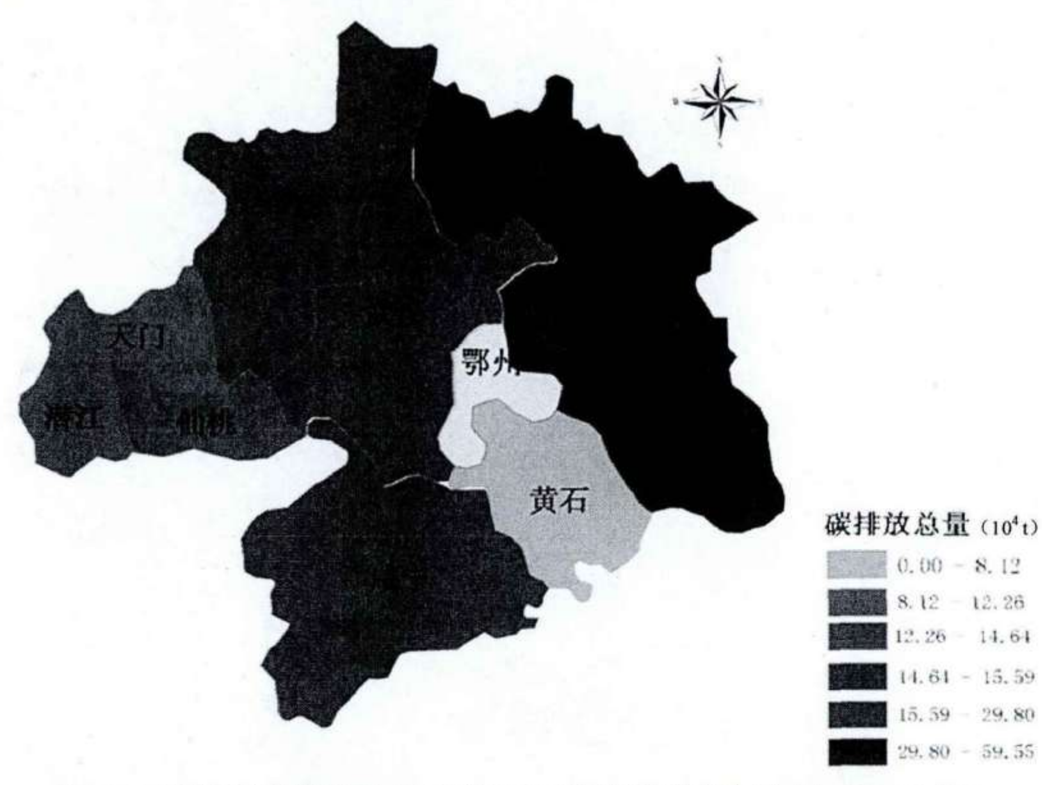


图 6.4 武汉城市圈各地区农资投入碳排放的空间格局（2009 年）

图示可以直观地看出武汉城市圈农业活动引发的碳排放主要分布黄冈、孝感、武汉地区，排放总量分别为 59.551、29.802、25.868 万吨，区域分布主要在鄂东北；其次是咸宁、仙桃、潜江、天门地区，碳排放量分别为 15.592、14.643、12.259、11.507 万吨，就区域分布主要集中在江汉平原区；黄石市农业活动产生的碳排量最少，只有 8.121 万吨。从农业活动碳排量强度对各个地区进行横向比较分析，武汉城市圈区域内黄冈市的碳排放强度名列首位，碳排放强度达 1.785 t/hm^2；其次是潜江、仙桃地区，碳排放强度分别为 1.757、1.612 t/hm^2，高于湖北省同期（2009 年）的农业碳排放强度 1.393 t/hm^2；黄石市碳排放强度最弱只有 0.896 t/hm^2；而孝感、

武汉、咸宁、天门地区碳排放强度较低，低于武汉城市圈同期（2009年）的农业碳排放强度。

将表6.4中武汉城市圈各地区的农业活动碳排总量输入SPSS 17.0软件，对各个地区的农业活动碳排总量进行聚类分析，各个地区按其农业碳排放总量聚类结果可分为四类（表6.5）。用同样的方法，将各个地区农业活动碳排放强度也进行聚类分析，聚类结果将其分为四类（表6.6）。对表6.5和表6.6聚类结果进行比较，分析武汉城市圈农业活动碳排放的区域特征。

表6.5 武汉城市圈2009年各地区农业活动碳排放总量聚类分析表

	碳排放总量聚类
第一组	黄冈市
第二组	孝感市、武汉市
第三组	咸宁市、仙桃市、潜江市、天门市
第四组	黄石市

表6.6 武汉城市圈2009年各地区农业活动碳排放强度聚类分析表

	碳排放强度聚类
第一组	黄冈市、仙桃市、潜江市
第二组	孝感市、天门市
第三组	武汉市
第四组	黄石市

表6.5和表6.6的四组，从第一组到第四组碳排放总量和碳排放强度依次降低，据此将碳排放总量和碳排放强度分为四个等级："很高"、"高"、"一般"、"低"。分析武汉城市圈农业活动的碳排放区域特征，得出黄冈市农业活动碳排放总量很高，碳排放强度很高，典型的"双高"型，发展低碳农业，减量农业化学投入品面临巨大压力；孝感市属于碳排放总量高和碳排放强度高的类型；武汉市碳排放总量高、碳排放强度一般；仙桃市、潜江市碳排放总量一般，但是碳排强度很高，在低碳农业发展应引起注意，作为减排重点工作之一；黄石市属于碳排放总量低和碳排放强度低的"双低"型，发展低碳农业有一定的潜力。

6.2 武汉城市圈农业碳排放的影响因素分析

6.2.1 农业经济增长与碳排放量的关系

农用物资在农业生产中投入一方面促进了农业的产出另一方面也产生了外部效应如导致农业的碳排放，为进一步分析武汉城市圈农业经济发展水平与农业投入碳排的关系，用武汉城市圈农林牧渔总产值与碳排放量进行相关分析，统计年鉴上

的农林牧渔总产值主要是根据现价进行统计，考虑到现价计算的产值不能进行时序的比较，采用 2000 年的产值为基年，计算出各年的不变价进行横向比较。碳排强度是指每产生万元农业 GDP 所排放的碳量，是农业经济活动对投入物资利用效率的衡量指标，体现了对农业生产投入物质的利用程度，也可作为农业节能减排的一个指标。

表 6.7 武汉城市圈农业 GDP 与碳排放总量、碳排放强度

年份	农林牧渔总产值（亿元）	碳排放总量（万吨）	碳排放强度（吨/万元）
2000	549.290	128.604	2341.28
2001	566.480	144.225	2545.99
2002	581.4465	145.688	2505.61
2003	611.183	147.005	2405.25
2004	644.077	151.655	2354.61
2005	689.883	154.651	2241.70
2006	719.465	159.881	2222.22
2007	886.006	157.216	1774.44
2008	1022.804	173.780	1699.05
2009	1049.686	166.430	1585.52
2010	1210.873	182.341	1505.86

注：农林牧渔总产值按 2000 年可比价计算。数据来源：武汉城市圈各市 2000-2011 年统计年鉴相关数据整理计算所得。

从表 6.7 和图 6.5 分析可以看出武汉城市圈随着增长，农业活动产生的碳排量也随着递增的关系。但是碳排放强度在减少，说明农业生产投入物资利用效率在提高，农业低碳化生产有一定的潜力。

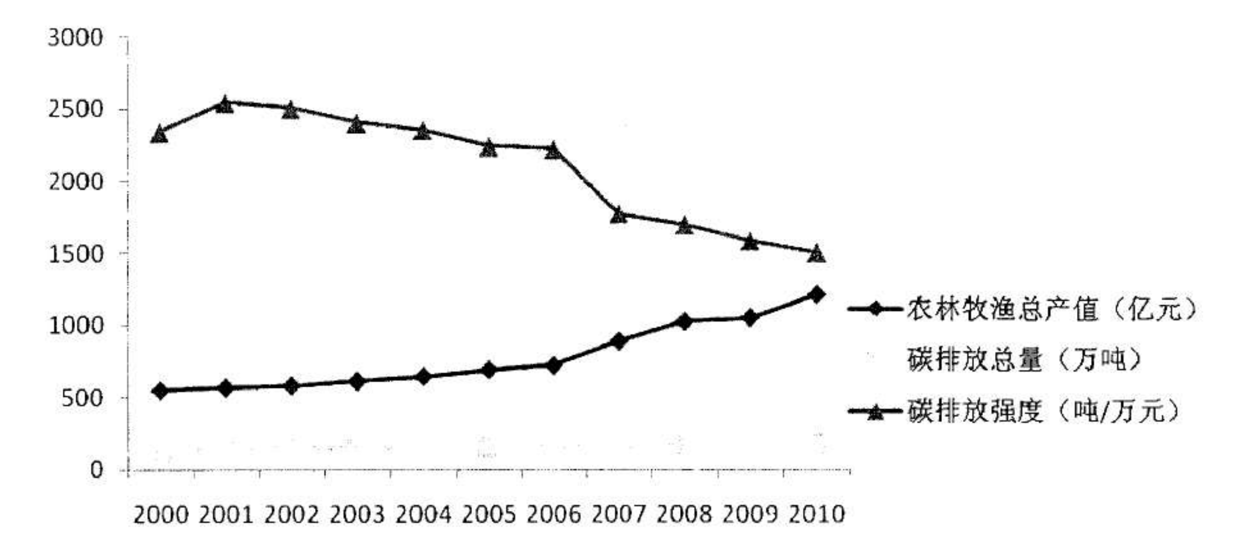


图 6.5 武汉城市圈农业 GDP 与碳排放总量、碳排放强度

由于农业经济的发展与碳排放量存在相关关系，但是为了农业的碳减排不可能限制农业经济的发展水平，这关系到农业的基础地位和粮食生产的安全性。因此武汉城市圈农业低碳化发展必须通过调整产业结构、改变发展方式来达到低碳减排的目的。

6.2.2 农业物资利用效率与碳排放量的关系

表 6.8 和图 6.6 显示出随着武汉城市圈农用物资投入量的增加碳排放量也随着增加，其中化肥投入量最多，与农业活动排放量具有很大的相关性。从 2000-2010 年武汉城市圈各类农用物资投入碳排放量占总量的比重（表 6.9），历年来碳排放量从大小依次是化肥、农药、农用柴油、农膜、灌溉。2010 年武汉城市圈化肥施用产生的碳排放量比重达占 63.10%；农药占 15.60%；农药柴油占 11.84%；农膜占 8.19%；农业灌溉占 1.27%。

表 6.8 武汉城市圈农资投入量与碳排放总量（单位：10^4 t）

年份	化肥	农药	农膜	柴油	碳排放总量
2000	85.7	3.65	2.63	19.23	128.60
2001	99.33	3.77	2.65	21.68	144.23
2002	97.76	4.31	2.77	21.25	145.69
2003	101.46	4.39	2.87	18.18	147.01
2004	104.26	4.74	2.65	19.82	151.66
2005	106.36	4.89	2.75	19.63	154.65
2006	108.26	5.57	2.76	19.83	159.88
2007	104.6	5.64	2.74	20.21	157.22
2008	120.34	5.81	2.94	20.81	173.78
2009	124.76	4.82	2.15	18.35	166.43
2010	128.47	5.77	2.88	22.67	182.34

数据来源：根据武汉城市圈 2000-2011 年各市统计年鉴相关数据整理计算所得。

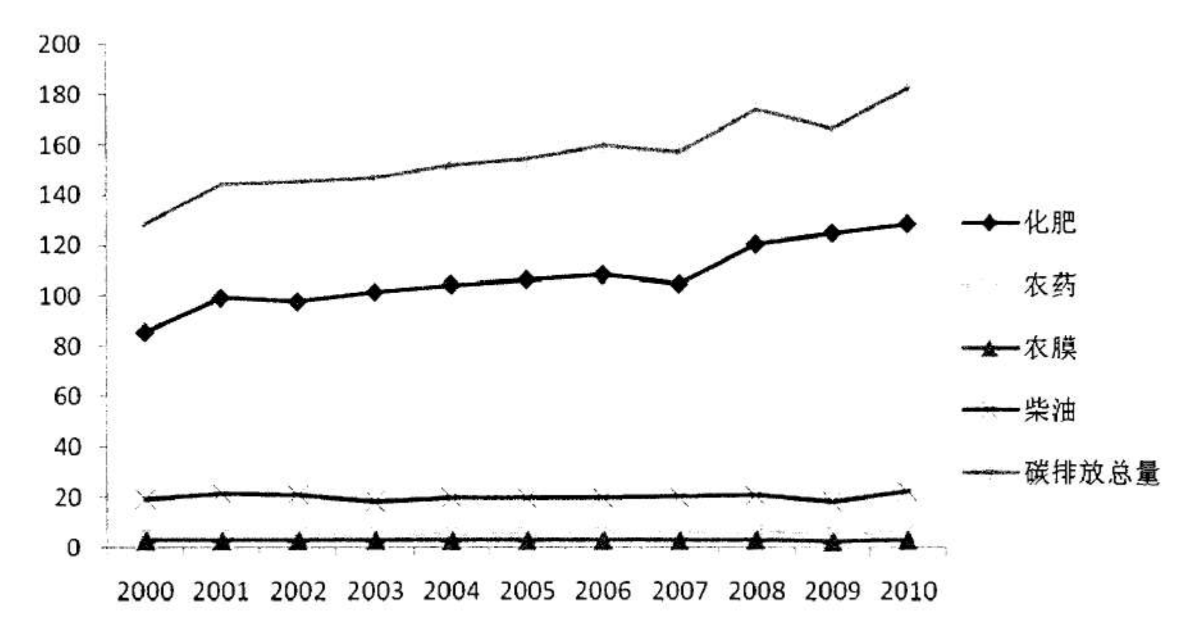


图 6.6 武汉城市圈农资投入量与碳排放总量的关系（单位：10^4 t）

表 6.9 武汉城市圈 2000-2010 年农用物资投入碳排放量占总碳量的比重（%）

年份	化肥比重	农药比重	农膜比重	柴油比重	灌溉比重
2000	59.68	14.01	10.59	14.24	1.47
2001	61.68	12.91	9.51	14.32	1.57
2002	60.10	14.60	9.85	13.90	1.55
2003	61.81	14.74	10.11	11.78	1.56
2004	61.57	15.42	9.04	12.45	1.51
2005	61.60	15.62	9.21	12.09	1.48
2006	60.64	17.18	8.94	11.82	1.42
2007	59.59	17.70	9.03	12.25	1.45
2008	62.02	16.50	8.77	11.41	1.31
2009	67.13	14.28	6.70	10.50	1.39
2010	63.10	15.60	8.19	11.84	1.27

数据来源：根据武汉城市圈 2000-2011 年各市统计年鉴相关数据整理计算所得。

要降低武汉城市圈农业活动碳排放量和碳排放强度，可以通过农药、化肥、农膜等生产投入品的减量，主要是化肥、农药、农用柴油，以减少碳排放量。通过提高农药、化肥等化学品的提高利用效率，达到每万元农业产值更少的碳排放量，在农业低碳化发展应着重注意。

第7章 武汉城市圈农业低碳发展的路径选择

在低碳农业经济相关理论基础综述和探讨上，对武汉城市圈的农用地利用和农业物资投入进行碳排放的测算，论证了武汉城市圈农业经济发展主要碳排放来自这两个方面。在低碳经济新的发展模式引领下，武汉城市圈农业经济发展必须进行低碳化生产，依据“武汉城市圈”农业低碳化发展具备的基础条件，结合武汉城市圈的“资源节约型和环境友好型”的“两型社会”与“两型农业”的发展战略，武汉城市圈农业低碳化发展需要紧扣低碳农业的内涵，从调整农业产业结构体系、探索低碳型的农用地利用新模式、农用物资投入的减量化和高效利用、农业低碳发展技术的创新和推广、农业低碳政策体制的建立和完善等几条路径实现武汉城市圈农业低碳的发展。

综上，武汉城市圈低碳农业发展的路径选择应主要集中从以下几个方面着手。

7.1 农业产业结构调整与低碳化

2010年，武汉城市圈农林牧渔业总产值为1546.24×10^8元，种植业占总产值比重由2005年53.88%下降到48.65%；林业比重由2005年2.16%下降到2.11%；牧业比重由2005年的26.77%提高到29.66%；渔业比重由2005年17.19%上升到19.58%，农业的生产结构逐步在优化，但是种植业的比重还是处于主导地位,农林牧渔业内部结构不是很合理。畜牧业是温室气体CH_4等的主要来源之一，EPA（2006年）统计表明我国2005年畜牧业胃肠道发酵和粪尿有机物发酵排放的CH_4总量为280.79 Mt CO_2·-eq，预计到2020年将增加到381.06 Mt CO_2·-eq。因此，目前武汉城市圈农业产业结构调整的重点在于稳住种植业的比重，减少畜牧业的比重，增加林业和渔业的比重。发挥区域优势发展农林牧渔业，武汉市主要以种植业和牧业为主；黄冈市以种植业和林业为主；咸宁、孝感、潜江、天门、黄石地区主要以种植业和牧业为主；鄂州和仙桃地区主要以种植业和渔业为主。

根据武汉城市圈农业区域布局，建立江汉平原、鄂东沿江平原区规模化标准化的水稻、小麦、玉米专业生产基地。推进鄂东北的大别山和鄂东南的幕阜山等低山丘陵岗地的草食畜牧业、肉牛养殖业；江汉平原为中心的肉牛和生猪养殖业的规模化生产。充分利用武汉城市圈的沿沿长江优势、湖泊（保安湖、龙感湖、梁子湖、西凉湖）优势、水库（白莲河、浮桥河水库）优势发展水产养殖业，重点发展小龙

虾、斑点叉尾鮰、河蟹等优势水产品和黄颡鱼、鳜鱼、龟鳖、鳝鳅、乌鳢等特色水产品，优化水产业品种，水产集约化养殖。发展水产品可以替代消费者对猪肉、牛羊肉等畜肉的需求，鱼肉、蛋类等同样可以提供人类对蛋白质等营养物质的需求，从而减少畜牧业温室气体的减排。

农业产业结构的低碳化是在低碳经济背景下产业结构调整的必然性，减少农业各产业生产的碳排放水平，促进农业的可持续发展，协调农业经济的环境效益和经济效益。

7.2 探索低碳型的农用地利用新模式

从武汉城市圈农用地利用结构的分析以及对农用地利用碳排放的测算，实质是对土壤和地上植被覆盖碳储量的估算，由于不同类型农用地的碳吸纳和碳汇存在差异，从农用地利用来看可以通过农业产业结构调整实现农用地向低碳的回归。从农用地内部结构数量的协调但不并意味着将耕地等碳源地转化为碳汇强的林地，需要协调各类农用地的数量，以确保粮食生产安全，保证经营者的经济利益。

根据武汉城市圈农用地利用碳排研究耕地是主要的碳源，近年来武汉城市圈耕地资源有小幅度的增长，但是单位面积产量增幅并不明显。耕地是具有巨大的固碳潜力的[94-96]，之所以耕地会碳损主要是因为耕作导致土壤有机质减少、土壤退化质量下降、施用化学肥料不利于土壤的固碳。要实现武汉城市圈耕地生产率和耕地碳汇双赢，需要推行新的耕地利用方式，保护性耕作如免耕、凿耕、秸秆覆盖耕作、垄耕等可以增加土壤有机质含量取得良好的固碳效果。耕地利用可以形成“粮食经济+能源经济（生物质能源）+体验经济（休闲农业）”的土地利用新模式。

武汉城市圈林地面积广阔，占总农用地的 41.76%，占城市圈土地面积的 29.12%。孝感市西北和北部的大洪山、桐柏山山地丘岗森林；黄冈市东部的大别山山地森林；咸宁市幕阜山山地丘岗森林；以及潜江、仙桃等市县的丘岗与水岸防护林。可以形成林地综合开发利用模式，发展“林—草—牧—菌—肥”的林牧业循环生态生产模式。在武汉城市圈也可以发展“经济林+生态旅游林+休闲保健林”的林地利用模式，在黄冈市、黄石市、咸宁市可以推广应用。探索林地利用新模式一方面发挥林地的生态效益，增加碳汇，降低农地利用碳排放强度；另一方面取得林地的经济效益，维护农民的利益，对农用地利用实现碳汇也具有促进作用。

7.3 农用物资投入的减量化与高效利用

通过分析表明了近年来武汉城市圈伴随农业物资投入量的增加碳排放量也随之增加，具有“耦合”关系。2009 年武汉城市圈农用地利用表现为弱碳汇，但是武汉城市圈农用物资投入量产生的碳排放远远大于农用地的碳吸纳，农用地利用所能控制的碳排放潜力并不能中和或高于农用物资投入释放的碳排量，武汉城市圈农业低碳化发展必须实现农用物资投入与农业经济发展的“脱钩”。应从农用物资投入的减量化与高效利用，寻找化学农药、化学肥料等高碳型的化学品替代物。

从武汉城市圈农用物资投入产生碳排放量比重来看，化肥施用碳排量比重最大，其余依次是农药、农用柴油、农膜、灌溉。因此农用物资投入首要解决的是化肥减量施用管理，一方面可施用缓控释肥，提高农作物对有效养分吸收利用的有效期，解决化肥利用率低和节能减排的问题；另一方面可通过测土配方施肥、化肥深施、使用有机肥料、推广使用复混肥和专用肥实现化肥的节约和增产效应。合理的氮磷钾配合平衡或施用有机肥和无机氮磷钾肥料混施也是有利益土壤的固碳。

武汉城市圈农业机械作业不断应用，对农用柴油需求量也必然增多。农用柴油可通过改良农用机械，保持不漏油，对农用柴油使用前进行净化，节约油量和提高利用率。

在减量化学农药的同时可以用生物农药、生物治虫替代品。尽量使用可降解农膜，减少在农用地上的残留，影响土壤有机质固碳率。

7.4 农业低碳发展技术的创新和推广

武汉城市圈生物质资源富集，地处江汉平原的天门、仙桃、潜江等市是重要商品粮棉基地，具有丰富的稻秆、麦秆、棉秆等多种类的秸秆资源，因此需要研究生物质资源化综合利用技术，其中包括肥料化（过腹、沼渣、堆沤腐解或生产有机生物复合肥）、饲料化等新技术。还可以创新秸秆气化技术，在仙桃、潜江、天门等地建立秸秆气化集中供气工程。

农用物资主要应用于农业生产，武汉城市圈农业物资投入是农业领域碳排放的主要来源，应当采用先进的农业技术和创新外源碳控制技术与减排技术。主要包括：缓控释肥、测土配方施肥等肥料施用控制技术；农药控制技术如农药冷雾施用技术；我国在水田超低空低量施药技术取得了新的突破，可以使农药有效利用率 35%以上，节省农药使用量 20%以上[97]，在武汉城市圈可推广使用。节水的灌溉技术如喷

灌、滴灌等技术推广使用。

7.5 农业低碳政策体制的建立和完善

农业低碳发展是一个综合系统工程，必须制定与之相应的政策和创新相应的制度，政策制度创新是农业低碳化发展关键的保障因素。低碳经济政策体系主要有指令性政策、鼓励性政策、研究开发政策、市场开拓政策等四类[98]。在武汉城市圈农业向低碳发展转型，应建立和完善相关农业低碳政策体系。

在农地利用方面要配套低碳导向的农用地利用政策体系。其中碳增汇政策包括农用地利用结构优化、耕地、林地、草地和湿地等方面的管理；碳减排政策包括农用地利用结构优化、农业碳减排等。

在农用物资利用方面要采取指令性的政策，如对农药的生产和使用都有严格的规范，可将农药分为禁止农药类（如六六六、甲胺磷等高残留、慢分解农药）、通用类农药（主要是指低毒、无残留、快分解）和限制类农药（如三氯杀螨醇等）三类，对农药实施使用许可证制度。对环境友好型的农资投入采取鼓励性政策。

在低碳农业技术方面应采取研究开发和鼓励性政策，农业低碳技术是最终减少农业碳排放、降低碳强度的核心，用以扩展农业减排和增加碳汇的空间。农业技术推广部门在政府的引导下通过对涉农主体（如农户、农业企业等）设置专门的技术教育培训，提高武汉城市圈农村和农业生产经营单位农业技术人员的比重，提高武汉城市圈农业技术水平和农业劳动生产率，一方面增加农业总产出另一方面对农业碳减排具有长远的影响。

上述五条路径是对武汉城市圈农业低碳化发展的初探，有助于武汉城市圈农业活动的碳减排、降低碳排放强度和增加农业碳库的碳汇功能，循序渐进的促进武汉城市圈农业低碳化发展，优化武汉城市圈农业产业结构，推进武汉城市圈农业的可持续发展，帮助实现武汉城市圈“两型社会”、“两型农业”的建设。

第8章 结论与展望

8.1 主要结论

（1）对武汉城市圈农用地（耕地、林地、草地）利用的碳排放效益研究表明：2009年武汉城市圈区域农用地利用处于碳汇状态，碳吸收量20.24万吨。这主要是由于林地的碳汇作用，武汉城市圈林地的蓄积强度为0.644 t C/hm^2，林地的碳吸纳强度大于我国林地的蓄积强度0.49 t C/hm^2；耕地是武汉城市圈农用地利用的主要碳源，耕地的碳排放强度为0.422 t C/hm^2，高于我国耕地的碳排放强度0.37 t C/hm^2。

从武汉城市圈各个地区来看，由于农用地利用结构差异性，各个区碳排放量存在显著的差异。因各类型农用地利用产生碳排放总量主要分布在武汉城市圈中西部，包括孝感、武汉、天门，累计碳排放总量超过22万吨。潜江、仙桃、鄂州碳排放总量较少，累计11万吨。而咸宁、黄冈、黄石三市农用地利用主要产生碳蓄积的作用，因为这三个地区林地面积大，林地碳汇潜力大。

（2）基于农用物资投入量分析武汉城市圈农业活动产生的碳排放表明：武汉城市圈从2000年到2010年由于化肥、农膜、农药、农业灌溉、农用柴油投入导致的农业活动碳排量逐年增加，具有明显的上升趋势。农业活动碳排放总量从2000年128.604万吨到2010年增加到182.341万吨，年均增长3.55%的碳排放量。从2000年到2010年武汉城市圈农资投入碳排放强度来看，农业活动碳排放强度与碳排放总量保持一致的增长趋势，从2000年的1.008 t/hm^{2}到2010年的1.383 t/hm^2，年均增长率3.21%。但是碳排放强度的环比增长率略有所下降，2001年最高增长率达13.12%，到2010年环比增长率为9.26%。

武汉城市圈农业活动引发的碳排放主要分布黄冈、孝感、武汉地区，区域分布主要在鄂东北；其次是咸宁、仙桃、潜江、天门地区，就区域分布主要集中在江汉平原区；黄石市农业活动产生的碳排量最少。从农业活动碳排量强度对各个地区进行横向比较分析，武汉城市圈区域内黄冈市的碳排放强度名列首位；其次是潜江、仙桃地区；黄石市碳排放强度最弱；而孝感、武汉、咸宁、天门地区碳排放强度较低。

通过spss17.0聚类分析武汉城市圈农业活动的碳排放区域特征，得出黄冈市农业活动碳排放总量很高，碳排放强度很高，典型的“双高”型，发展低碳农业，减量农业化学投入品面临巨大压力；孝感市属于碳排放总量高和碳排放强度高的类

型；武汉市碳排放总量高、碳排放强度一般；仙桃市、潜江市碳排放总量一般，但是碳排强度很高，在农业低碳发展应引起注意，作为减排重点工作之一；黄石市属于碳排放总量低和碳排放强度低的“双低”型，发展低碳农业有一定的潜力。

（3）武汉城市圈农用地利用、农用物资投入与农业活动碳排放存在着相关关系，农业经济增长也是促使武汉城市圈农业碳排放增加的因素之一。为实现武汉城市圈农业向低碳发展，可以依赖以下几条路径实现农业低碳化：一是调整武汉城市圈农业产业结构与低碳化；二是探索低碳型的农用地利用新模式；三是实现农业物资投入的减量与高效率利用；四是创新推广农业低碳发展技术；五是通过建立和完善农业低碳政策体制保障武汉城市圈农业低碳发展的实现。

8.2 论文创新点

农业低碳发展研究已成为一个研究热点，本文对武汉城市圈农业低碳发展研究的创新性主要表现在以下几点：

（1）系统总结农业低碳发展的有关基础理论，评述了国内外农业低碳发展研究，在此基础上结合本文研究主要内容重新界定了低碳农业的内涵。

（2）有别于已有研究所关注农业低碳发展，本文主要从武汉城市圈农业活动的两个主要方面——农用地利用和农用物资投入测算农业碳排放情况。这对分析武汉城市圈农业低碳发展和路径选择提供依据。

（3）从时间序列角度和空间格局视角分析武汉城市圈农用地利用和农用物资投入导致的碳排放。在农用地利用方面主要分析了武汉城市圈各地区农地利用排放情况的空间格局。从时间序列角度分析武汉城市圈农用物资投入产生碳排放量的趋势，进一步从空间格局角度分析农用物资投入导致武汉城市圈农业碳排放的区域差异，从而更有针对性的提出武汉城市圈农业低碳发展的路径选择。

8.3 研究展望

有关低碳农业的课题研究是一个全新的领域，有关问题研究和探讨也是一个持续、渐进的完善过程，今后可以从以下几个方面进一步深入研究：

（1）农用地碳排放强度时空的变化及其驱动机制研究

进一步获取武汉城市圈近 10 年来农用地利用相关时间系列数据，计算出武汉城市圈农用地利用产生的碳排放强度，分析时序变化特征。在分析农用地利用类型

碳排放强度变化趋势的基础上，探讨农用地利用碳排放的驱动机制。

利用计算出来的武汉城市圈农用地碳排放强度，绘制武汉城市圈农业用地碳排放强度分布图，初步分析碳排放强度的空间格局，以及空间格局的变化。在此基础上借助相关统计方法分析其空间分布格局的驱动机制。

以上的进一步研究对武汉城市圈农用地碳减排有一定的指导意义，对武汉城市圈农用地利用低碳化策略提供依据。

（2）低碳农业发展中农户行为的研究

农户是农村社区最基本的组织单位[99]，也是农业经济经营的主体，可以说农户是导致农业在生产过程中碳排放的直接主体[100]，是农业低碳发展的一个重要影响因素。在农业现代化生产过程中，农药、化肥、农膜等“高碳型”的农业物资投入日益增多而带来的农业生产碳排放量与日俱增且伴随着农业环境的恶化，从农户经营行为分析造成这些现象的原因，引导农户选择低碳化的生产行为，对农业低碳化发展具有重要作用。

农户的年龄、素质特征以及对技术采用行为等这些都对农业低碳化发展都有一定的关联。而且农户关注的是农业经济效益，发展低碳农业必须协调农业经济效益与环境效益二者的协调，在这过程如何形成有效的激励机制，农户才会改变农业的经营行为发展低碳农业，需要深化探讨。

（3）建立低碳农业发展的科学评价指标体系

由于农业生态系统具有碳源和碳吸存的双重特征，何时是碳汇，何时是碳排；以及农作物碳汇和农田土壤碳库动态变化趋势及其规律阐明，需要客观的定量分析、科学评价。

探索低碳农业经济内部运行机理，特别是对揭示低碳农业经济最本质内容的理论系统分析研究。通过确定低碳发展的主要指标群和次要指标群，客观判别武汉城市圈低碳农业实施的有效性，建立完善低碳农业经济发展的评价体系。在此基础上制定农业碳减排的标准。

以上列出的几个研究内容，以及低碳农业发展过程中不断呈现的新问题，在未来的学习研究中将作为分析的重点，力求取得在低碳农业领域更具实质性的研究进展。

参考文献

[1] 政府间气候变化专门委员会第四次评估报告-维基百科，自由的百科全书[EB/OL]. http://zh.wikipedia.org/wiki/User:Towerman/translation. [2012/4/21].

[2] 雷鹏. 低碳经济发展模式论[M]. 上海上海交通大学出版社, 2011:2.

[3] 刘再起, 陈春. 全球视野下的低碳经济理论与实践[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2010(5):770-775.

[4] 朱有志, 周少华, 袁男优. 发展低碳经济 应对气候变化——低碳经济及其评价指标[J]. 中国国情国力, 2009(12):4-6.

[5] 林而达. 气候变化与农业可持续发展[M]. 北京北京出版社, 2001.

[6] 谢淑娟, 匡耀求, 黄宁生. 中国发展碳汇农业的主要路径与政策建议[J]. 中国人口・资源与环境, 2010(12):46-51.

[7] 齐晔, 李惠民, 王晓. 农业与中国的低碳发展战略[J]. 中国农业科学, 2012(1):1-6.

[8] 李波, 张俊飚, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口・资源与环境, 2011(8):80-86.

[9] 方大春, 张敏新. 低碳经济的理论基础及其经济学价值[J]. 中国人口・资源与环境, 2011(7):91-95.

[10] 齐永忠, 于战平. 中国都市农业发展的战略走向与发展思路[J]. 农业经济问题, 2006(4):67-69.

[11] 杜辉. 武汉城市圈发展中的农业基础建设研究[J]. 内蒙古财经学院学报, 2009(2):10-13.

[12] 中华人民共和国农业部.低碳农业——应对气候变化农业行动[M]. 中国农业出版社, 2009, 1:1.

[13] 王昀. 低碳农业经济略论[J]. 中国农业信息, 2008(8):12-15.

[14] 罗吉文, 许蕾. 论低碳农业的产生、内涵与发展对策[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(6):701-703, 728.

[15] 我国农业发展可用低碳农业代替高碳农业—生物产业—生物谷[EB/OL]. http://www.bioon.com/bioindustry/agriculture/404250.shtml. [2012/4/17].

[16] Hediger W. Modeling GHG Emissions and Carbon Sequestration in Swiss Agriculture an Integrated Economic Approach[J]. International Congress Series,

2006(1293):86-95.

[17] 王松良, Caldwell C. D., 祝文烽. 低碳农业:来源、原理和策略[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(5):604-607.

[18] 漆雁斌, 毛婷婷, 殷凌霄. 能源紧张情况下的低碳农业发展问题分析[J]. 农业技术经济, 2010(3):106-115.

[19] 许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. 经济学家, 2010(10):72-78.

[20] L M Vleesshouwers, A Verhagen. Carbon Emission and Sequestration by Agriculture Land Use Model Study for Europe[J]. Global Change Biology, 2002(8):519-530.

[21] Tristram O West, Gregg Marland. Net Carbon Flux From Agriculture Carbon Emissions, Carbon Sequestration, Crop Yield, and Land-use Change[J]. Biogeochemistry, 2003(63):73-83.

[22] David Coley, Mark Howard, Michael Winter. Local Food, Food Miles and Carbon Emissions Comparison of Farm Shop and Mass Distribution Approaches[J]. Food Policy, 2009(34):150-155.

[23] John Antle, Susan Capalbo, Sian Mooney, et al. Spatial Heterogeneity, Contract Design, and the Efficiency of Carbon Sequestration Policies for Agriculture[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2003(4).

[24] Annette Freibauer, Mark D A Rounsevell, Pete Smith, et al. Carbon Sequestration in the Agricultural Soils of Europe[J]. Geoderma, 2004, 122(1):1-23.

[25] Alla Golub, Thomas Hertel, Huey-lin Lee. The Opportunity Cost of Land Use and the Global Potential for Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture and Forestry[J]. Resource and Energy Economics, 2009, 31(4):299-319.

[26] 李明峰, 董云社, 耿元波, 等. 农业生产的温室气体排放研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2003(2):213-216.

[27] 黄坚雄, 陈源泉, 隋鹏, 等. 农田温室气体净排放研究进展[J]. 中国人口・资源与环境, 2011(8):87-94.

[28] 卢娜, 曲福田, 冯淑怡. 中国农田生态系统碳净吸收重心移动及其原因[J]. 中国人口・资源与环境, 2011(5):119-125.

[29] 赵荣钦. 农田生态系统碳源/汇的时空差异及增汇技术研究[D]. 河南大学,2004.

[30] 李波, 张俊飚, 李海鹏. 中国农业碳排放与经济发展的实证研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011(12):8-13.

[31] 李国志, 李宗植. 中国农业能源消费碳排放因素分解实证分析——基于LMDI

模型[J]. 农业技术经济, 2010(10):66-72.
[32] 巩帅臣. 湖南省碳排放特征及影响因素分析[J]. 企业家天地, 2010(1):115-117.
[33] 梅林海, 杨慧. 基于kaya公式的中国碳排放因素的灰关联分析[J]. 云南财经大学学报, 2011(4):66-70.
[34] 董谦, 刘宾, 董海荣. 河北省低碳农业发展条件 • 影响因素分析与对策建议[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10):6185-6186, 6189.
[35] 马伦姣. 湖北省农业低碳发展制约因素的实证探析[J]. 湖北农业科学, 2011(10):2138-2141.
[36] 李晓燕, 王彬彬. 低碳农业:应对气候变化下的农业发展之路[J]. 农村经济, 2010(3):10-12.
[37] 贺顺奎. 低碳农业:农业现代化的必然选择[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2010(3):39-41.
[38] 马友华, 王桂苓, 石润圭, 等. 低碳经济与农业可持续发展[J]. 生态经济, 2009(6):116-118.
[39] 徐庆国, 刘红梅, 黄丰. 低碳农业与可持续发展探讨[J]. 作物研究, 2010(4):224-227.
[40] 韦恒, 柴方营. 低碳经济与农业可持续发展对策研究——以黑龙江省为例[J]. 哈尔滨商业大学学报（社会科学版）, 2011(1):12-16.
[41] 严立冬, 邓远建, 屈志光. 论生态视角下的低碳农业发展[J]. 中国人口 •资源与环境, 2010(12):40-45.
[42] 杜受祜. 低碳农业:潜力巨大的低碳经济领域[J]. 农村经济, 2010(4):3-5.
[43] 刘涛, 张志强, 雷明. 农业低碳经济持续发展的作用机理:基于动态博弈分析的视角[J]. 科技进步与对策, 2011(7):89-92.
[44] 罗吉文. 低碳农业经济效益的测评与实证[J]. 统计与决策, 2010(24):78-81.
[45] 宗浩, 游燕, 郑鸽. 低碳农业的技术体系构建初探[J]. 绵阳师范学院学报, 2010(8):75-79.
[46] 汪丽婷, 马友华, 储茵, 等. 畜禽粪便废弃物处理与低碳技术应用[J]. 农业环境与发展, 2010(5):57-60.
[47] 朱小红, 马友华, 胡宏祥, 等. 低碳技术在农作物秸秆利用中的应用[J]. 农业环境与发展, 2010(4):5-8.
[48] 蔡立湘, 彭新德, 纪雄辉, 等. 南方稻区低碳农业发展的技术途径[J]. 作物研究, 2010(4):218-223.

[49] 赵永志, 高启臣, 廖洪. 发展低碳农业,土肥技术先行[J]. 北京农业, 2010(21):80-83.

[50] 高旺盛. 论保护性耕作技术的基本原理与发展趋势[J]. 中国农业科学, 2007(12):2702-2708.

[51] 廖媛红. 低碳农业的发展模式研究[J]. 作物研究, 2010(4):228-231.

[52] 罗吉文. 低碳农业发展路径探析[J]. 广东农业科学, 2011(15):199-202.

[53] 陈兴鹏, 赵永波, 薛冰, 等. 基于循环经济的低碳农业建设路径研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010(3):321-324.

[54] 琚新丰, 赵爽. 循环立体养殖推助阳城蚕桑跨入低碳农业门槛[N]. 山西科技报, 2010-10-14(A01).

[55] 张新民, 张水成. 有机农业与应对气候变化[J]. 经济研究导刊, 2010(28):183-184.

[56] 骆旭添, 李忠, 陈军, 等. 福建省发展低碳农业的必然性与思路[J]. 台湾农业探索, 2011(5):31-35.

[57] 林梅, 张伟利, 刘碧云, 等. 对福建发展低碳农业的思考[J]. 中国农村小康科技, 2011(2):75-77.

[58] 龙江雨. 黑龙江省发展低碳农业的措施[J]. 黑龙江农业科学, 2010(9):173-175.

[59] 温和. 黑龙江省村域农业生态系统碳平衡及低碳农业对策研究[D]. 东北农业大学, 2011.

[60] 李晓燕, 王彬彬. 四川发展低碳农业的必然性和途径[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2010(1):103-106.

[61] 李光全. 沿海发达地区低碳农业发展的现状、问题与对策——以浙江省为例[J]. 当代经济管理, 2011,33(6):61-65.

[62] 杜华章. 江苏低碳农业发展现状与对策[J]. 农学学报, 2011(10):49-54.

[63] 徐威威, 马晓旭. 江苏省低碳农业发展的SWOT分析[J]. 经济研究导刊, 2011(12):188-190.

[64] 闫慧敏. 河北省低碳经济与技术创新协同发展的思路及对策研究[J]. 经济师, 2011(4):216-217.

[65] Ann P. Kinzig , Daniel M. Kammen. National Trajectories of Carbon Emissions Analysis of Proposals to Foster the Transition to Low-carbon Economies[J]. Global Environmental Change, 1998, 8(3):183-208.

[66] DTI (Department of Trade and Industry), Energy White Paper Our Energy

Future—Create a Low Carbon Economy[R]. London TSO, 2003.
[67] 国务院发展研究中心课题组. 当前发展低碳经济的重点与政策建议[J]. 政策瞭望, 2010(2):48-50.
[68] 袁男优. 低碳经济的概念内涵[J]. 城市环境与城市生态, 2010(1):43-46.
[69] Conway GR. The Properties of Agroecosystems[J]. 1987, 24(2):95-117.
[70] 刘彦随, 吴传钧. 农业持续发展研究进展及其理论[J]. 经济地理, 2000(1):63-68.
[71] 万春雷. 可持续农业发展现状与展望[J]. 农业科技与装备, 2010(6):126-127.
[72] 韦严. 基于碳排放视角的区域土地利用结构变化研究[D]. 广西师范学院, 2011.
[73] Global Land Project. Global Land Project : Science Plan and Implementation Strategy[R]. IGBP Report 53, IHDP Report 19, 2005.
[74] 朱道林, 林瑞瑞. 论低碳经济与转变土地利用方式[J]. 中国土地科学, 2010(10):3-6.
[75] 武汉城市圈土地利用结构现状分析[EB/OL]. http://www.mlr.gov.cn/zljc/201008/t20100825_746146.htm. [2011/12/15].
[76] 秦尊文. 武汉城市圈的形成机制与发展趋势[M]. 中国地质大学出版社, 2010, 01:53-54.
[77] 向猛. 我国农业生产性能源消费分析[D]. 中国农业科学院, 2010.
[78] 高红贵. 低碳经济与武汉城市圈产业结构调整研究[J]. 武汉建设, 2010(04):14-15.
[79] 徐卫涛, 张俊飚, 周万柳. 农业经济增长与资源消耗关系实证研究——基于武汉城市圈面板数据[J]. 价格理论与实践, 2010(02):19-20.
[80] 陈应泉, 汪翔, 陈汉平, 等. 武汉城市圈农村生物质资源特点及综合利用建议[J]. 可再生能源, 2009(2):106-109.
[81] (日)速水佑次郎, (美)弗农•拉坦. 农业发展的国际分析[M]. 北京中国社会科学出版社, 2000:102.
[82] 武汉市"十二五"农业科技发展规划（2011-2015）[R]. 武汉：武汉市农业局, 2010.
[83] 湖北省"十二五"农业机械化发展规划[EB/OL]. http://www.hbagri.gov.cn/tabid/64/InfoID/31034/frtid/254/Default.aspx. [2011/12/16].
[84] 黄莉敏, 何国松. 武汉城市圈产业结构研究[J]. 商业时代, 2011(32):141-142.

[85] 中华人民共和国土地管理法[EB/OL]. http://www.gov.cn/banshi/2005-05/26/content_989.htm. [2012/4/21].

[86] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京大学, 2010.

[87] 李颖, 黄贤金, 甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报, 2008(S2):102-107.

[88] 苏雅丽, 张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 水土保持学报, 2011(1):152-156.

[89] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981～2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2007(6):804-812.

[90] 大冶市国土资源局[EB/OL]. http://www.dygt.gov.cn/Html/science/Technology/47800805995.html. [2012/4/15].

[91] West TO，Marland G. A Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Emissions, and Net Carbon Flux in Agriculture：Comparing Tillage Practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2002, 91:21.

[92] 智静, 高吉喜. 中国城乡居民食品消费碳排放对比分析[J]. 地理科学进展, 2009, 28(3):429-434.

[93] Dubey A Lal R. Carbon Footprint and Sustainability of Agricultural Production Systems in Punjab, India, and Ohio USA[J]. Crop Improvement, 2009.

[94] 徐尚起, 黄光辉, 李永, 等. 农业措施对农田土壤碳影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2011(8):259-264.

[95] Mith P, Martino D, Cai Z, et al. Agriculture. In Climate Change 2007 Mitigation. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B]. Metz, O.

[96] 赵荣钦, 秦明周, 黄爱民. 耕地土壤碳固存的措施与潜力[J]. 生态环境, 2004(1):81-84.

[97] 农业部南京农业机械化研究所. 水田超低空低量施药技术获突破[J]. 种业导刊, 2011(8):40.

[98] 娄伟, 李萌. 低碳经济规划：理论•方法•模型[M]. 社会科学文献出版社, 2011, 3:336-337.

[99] 张莎莎. 农户生态行为研究综述[J]. 大众商务（下半月）, 2010(3):308-309.

[100] 冉光和, 王建洪, 王定祥. 我国现代农业生产的碳排放变动趋势研究[J]. 农业经济问题, 2011(2):32-38.

在校期间发表的论文、科研成果

[1] 发表论文：林巧鹏, 郑学祺. 2000年来国内城市分形研究回顾及展望[J]. 华中师范大学研究生学报, 2011 (03):153-157, 168. 备注：CJFD收录期刊。

[2] 2010年09月—2011年03月：参与了湖北省咸宁市低碳经济发展规划项目。项目的负责人，参与制定工作方案、编写文本。

[3] 2012年04月—2012年05月：参与黄石市阳新县工矿废弃地复垦利用专项规划（2012-2014）项目。参与野外调查和规划文本的编写。

致 谢

时光飞逝，岁月如歌，春暖花开，在华中师范大学两年的研究生求学生涯即将结束。经历了众多坎坷和磨练，我深刻体会到了写论文时的那份宁静和思考。回首往昔，奋斗和艰辛已成为永恒的记忆，甜美与欢笑也都尘埃落定。值此硕士论文收笔之际，我谨向所有支持、帮助和激励我的老师、同学、朋友及家人表示最诚挚的感谢与最美好的祝愿！

首先要感谢我的导师钟儒刚教授，论文从定题到写作、定稿的精心指导，倾注了老师大量的心血。在我攻读硕士研究生期间，钟老师在学习上对我进行悉心的指导和教诲，他的严谨治学、豁达胸襟、和对学生的认真负责的敬业精神给我了我潜移默化的影响。在我面临人生选择的茫然之际，为我排忧解惑，促使我不断进步。我会以钟老师为榜样，努力学习和工作，使自己更加睿智和优秀，借此机会，对钟老师致以崇高的敬意和深深的谢意！

感谢湖北科技学院资环院的各位领导、老师，特别是何国松、朱俊成老师从论文的开题、数据收集和论文的修改，给我提供了宝贵的建议，论文才可以顺利完成。感谢韩冰华、柯新利、刘成武等老师对我的直接或间接地帮助，非常的感谢你们！为表感激之情，再次向他们说声谢谢。

感谢华中师范大学城环学院曾经帮助过我的领导和任课老师，他们是曾菊新、罗静、胡静、周勇、刘嗣明、王宏志、龚胜生等老师，老师们在思想上的启迪、学业上的指导、学术中的探讨，使我获益颇多。为人师表，孜孜不倦，精益求精是我们学习的楷模，使我终身受益。

同时，要非常感谢实验室的同窗好友熊琴、任卉芳、马超、张连莲、田向南、金赉、李艳彬、陈雪飞等，大家共同学习、互相帮助、在拼搏中感受快乐，这份同窗之谊，我将终身难忘。我真心地祝愿他们学有所成，梦想成真，一生幸福！

我还要衷心感谢我的父母，他们的养育之恩、教诲之情、理解之心、支持之意，才使我顺利完成学业。这份恩情，我会用一生来回报他们、孝敬他们。

感谢北京爱琴海软件公司 NoteExpress 软件对我论文写作过程文献管理技术上的支持。

最后，对百忙之中审阅论文和参加论文答辩的各位领导、老师表示感谢，献上真心的祝福。

2012 年 5 月 1 日于武昌桂子山